



Escuela  
Politécnica  
Superior

# El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.



Máster Universitario en Ingeniería de los  
Materiales, del Agua y del Terreno

## Trabajo Fin de Máster

Autor:

Afonso Miguel Solak

Tutor/es:

Antonio José Tenza Abril

Agosto 2017



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



## RESUMEN

Los hormigones ligeros permiten una mayor flexibilidad en el diseño de estructuras, así como un ahorro de costes ya que se pueden disminuir de forma considerable las cargas muertas, los costes de cimentación, etc. Además, mejoran la eficiencia energética de los edificios debido a un incremento de la resistencia térmica. Sin embargo, estos hormigones son susceptibles de presentar segregación debido a las diferencias entre las densidades de sus componentes durante el proceso de vibrado. La segregación, a pesar de producirse de forma accidental, provoca una distribución no uniforme de los áridos en la mezcla de hormigón, lo que puede afectar fuertemente a las características globales consideradas como valores homogéneos durante el diseño. Estos aspectos justifican que se evalúe la segregación utilizando diferentes índices para su cuantificación. El objeto principal del estudio ha consistido en verificar la existencia de métodos para la cuantificación del fenómeno de segregación en la bibliografía existente, para a continuación aplicarlos para evaluar la segregación de un hormigón ligero provocando su segregación mediante diferentes tiempos de vibrado. Para estimar el índice de segregación fueron empleados cinco métodos distintos, siendo el primero de carácter experimental, utilizando métodos clásicos de medición de densidad, otro mediante la evaluación de velocidades ultrasónicas y tres por análisis de imágenes. De dichos métodos, dos son propuestas exclusivas de este trabajo. Durante el proceso experimental las probetas cilíndricas de hormigón ligero se seccionaron verticalmente en dos partes y a continuación horizontalmente en cuatro partes. De cada octavo de probeta se extrajeron testigos cilíndricos para estudios del comportamiento de la resistencia a compresión a lo largo de las probetas en toda su altura. Los resultados fueron estudiados a través de diferentes análisis estadísticos empleando ANOVAs y Coeficientes de Tukey, obteniendo las variaciones en el índice de segregación para un hormigón ligero, dependiendo del tiempo de vibración, de las características de fabricación y de las características de la naturaleza de los materiales utilizados. Además, se puede observar como varía la cantidad de árido ligero en las distintas secciones del hormigón, la evolución de la densidad global de las muestras a través de su grado de compactación y el incremento y descenso de la resistencia a compresión de los diferentes octavos de probeta debido a la segregación. Los resultados también comprueban la eficacia y la precisión de los métodos de cuantificación de la segregación propuestos en este trabajo y comparan sus ventajas y desventajas con los demás métodos encontrados en la bibliografía.

**PALABRAS CLAVE:** hormigón ligero, segregación, densidad, ultrasonidos, índice de segregación, ANOVA





## ABSTRACT

The use of lightweight aggregate concretes allows a greater design flexibility and substantial cost savings, as a consequence of considerably reducing the dead loads, the foundation costs, etc. In addition, their use has a positive impact on the energy consumption of a building due to their higher thermal resistance values. However, lightweight concretes are susceptible to present aggregate segregation due to density differences among its components during concrete vibration. Segregation, mainly produced by accident, causes a non-uniform distribution of aggregates in the mixture and may strongly affect the concrete global properties, which are commonly considered as homogenous values for design purposes. These facts justify the use of different indexes to properly evaluate this phenomenon. The main objective of the study is to verify the existence of quantification methods of the segregation phenomenon in the bibliography and apply them to evaluate the segregation of a lightweight concrete, causing segregation through different vibration times. To estimate the segregation index, five different methods were used, the first one, carrying on different experiments, using classic methods of density measurement; the second through ultrasonic velocities and the three others applying image analysis. Two of the methods employed, are exclusive proposals of this work. During the experimental procedure, the cylindrical specimens of lightweight concrete were vertically sectioned in two parts and then horizontally cut in four parts. From each octave of the samples that were obtained, cylindrical cores were extracted for studies of the compressive strength behavior throughout the specimen's height. Through statistical analysis using ANOVAs and Tukey's Coefficients, the results were interpreted and discussed, obtaining the evolution of the segregation index for lightweight concrete, depending on the vibration time, on the manufacturing characteristics and on the natural characteristics of the materials used. Furthermore, we can observe the variation on the lightweight amount through the different sections, the evolution of the overall density of the samples though their degree of compactation and the increase or decrease of the compressive strength of the different octaves due to segregation. The results also prove the effectiveness and precision of the quantification of segregation methods proposed in this study and compare their advantages and disadvantages within the other methods found in the literature.

**KEYWORDS:** Lightweight concrete, segregation, density, ultrasonic tests, segregation index, ANOVA



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a mis padres **José Delmiro Solak** y **Maria Tereza Izidoro**, por su apoyo incondicional y por todas las oportunidades que me brindaron, por comprender mi ausencia y permanecer siempre a mi lado, a pesar de separarnos un océano de distancia.

A mi hermana, **Valentina Solak**, mi mejor amiga, por reconfortarme en mis momentos más difíciles.

A **mis amigos**, que me acompañan a lo largo de mi travesía, ya sea en Brasil, Italia, España o cualquier otro lugar del mundo. Por todo lo que me han enseñado y he descubierto al convivir con personas tan especiales.

A mis profesores **Dr. Antonio José Tenza Abril** y **Dr. Francisco Baeza Brotons**, compañeros de investigación, por la confianza y motivación que siempre me han transmitido.

A **CYPE INGENIEROS S.A.**, por entender mi voluntad de seguir estudiando y permitirme compaginar mi trabajo con mis estudios.

Finalmente, agradezco a mi familia, especialmente **a mis abuelos, tíos y primos** por todos los momentos de apoyo y oración, por sus palabras de ánimo, así como por todos los momentos vividos.



Este trabajo está dedicado a todos aquellos que, como yo,  
no perciben la ingeniería solamente como una profesión, sino como una pasión.



*“O desafio me fascina”*

Afonso Solak



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
ÍNDICE DE FIGURAS	12
ÍNDICE DE TABLAS	23
ÍNDICE DE SIGLAS	25
1. INTRODUCCIÓN	26
1.1. OBJETIVO	26
1.2. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	27
2. ESTADO DEL ARTE	29
2.1. GENERALIDADES	29
2.2. CONTEXTO HISTÓRICO	30
2.3. TIPOS DE HORMIGONES LIGEROS	32
2.3.1. HORMIGÓN SIN ÁRIDO FINO (HSAF)	33
2.3.2. HORMIGÓN CELULAR (HC)	33
2.3.3. HORMIGÓN CON ÁRIDOS LIGEROS (HAL)	33
2.4. TIPOS DE ÁRIDOS LIGEROS	34
2.4.1. CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL HORMIGÓN QUE PUEDE SER OBTENIDO	34
2.4.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN ORIGEN	35
2.4.2.1. ÁRIDOS LIGEROS NATURALES	35
2.4.2.2. ÁRIDOS LIGEROS ARTIFICIALES	36
2.4.2.1. PROCESOS DE FABRICACIÓN DE LOS ÁRIDOS LIGEROS ARTIFICIALES	36
2.4.1. ÁRIDOS LIGEROS MÁS UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN	38
2.5. CORROSIÓN DE ARMADURAS EN HORMIGONES LIGEROS	39
2.6. DURABILIDAD DE HORMIGONES LIGEROS	41
2.7. PRODUCCIÓN, TRANSPORTE, PUESTA EN OBRA Y COMPACTACIÓN DE HORMIGONES LIGEROS	43
2.8. EL FENÓMENO DE SEGREGACIÓN	44
2.8.1. LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN APLICADA AL HORMIGÓN Y LA SEGREGACIÓN	44
2.8.2. INFLUENCIA DE LA SEGREGACIÓN EN LA DURABILIDAD DEL HORMIGÓN	45
2.8.3. INFLUENCIA DE LA SEGREGACIÓN EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGONES LIGEROS	45



2.8.4.	INFLUENCIA DE LA DISTRIBUCIÓN, FORMA Y DEL TAMAÑO DE LOS ÁRIDOS EN LA SEGREGACIÓN	45
2.9.	EL ESTUDIO Y LA CUANTIFICACIÓN DEL FENÓMENO DE SEGREGACIÓN	46
2.9.1.	MÉTODO DE BUI ET AL	47
2.9.2.	MÉTODO DE KE	47
2.9.1.	MÉTODO DE BARBOSA ET AL	48
2.9.2.	MÉTODO DE LOPEZ - NAVARRETE-LOPEZ - ESMAEILKHANIAN	49
2.9.3.	EL USO DE IMÁGENES 2D PARA REPRESENTAR FENÓMENOS EN 3D	50
2.10.	ESTUDIO ULTRASÓNICO	50
3.	MATERIALES	52
4.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	55
4.1.	FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN E PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS	56
4.2.	ETAPA EXPERIMENTAL	57
4.3.	ETAPA POR ANÁLISIS DE IMÁGENES	57
4.3.1.	TRATAMIENTO INICIAL DE LAS IMÁGENES	57
4.3.2.	BINARIZACIÓN	58
4.3.3.	PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE LAS MATRICES DE BLANCOS Y NEGROS.	58
4.4.	PROPIEDADES MECÁNICAS	64
5.	VALIDACIÓN DEL MÉTODO POR ANÁLISIS DE IMÁGENES PROPUESTO EN ESTE TRABAJO	66
5.1.	VALIDACIÓN DEL MÉTODO POR ANÁLISIS DE IMÁGENES	66
5.1.1.	CRITERIO DE VALIDACIÓN 1: DENSIDADES OBTENIDAS EXPERIMENTALMENTE VS DENSIDADES OBTENIDAS POR ANÁLISIS DE IMÁGENES	66
5.1.2.	CRITERIO DE VALIDACIÓN 2: ÍNDICE DE SEGREGACIÓN DE KE CALCULADO EXPERIMENTALMENTE Y POR ANÁLISIS DE IMÁGENES	67
5.2.	ÍNDICES DE SEGREGACIÓN DE OTROS AUTORES	68
6.	RESULTADOS OBTENIDOS PARA LOS HORMIGONES ESTUDIADOS	72
6.1.	RESULTADOS: ÍNDICES DE SEGREGACIÓN (IS) VERSUS TIEMPO DE VIBRADO (TV).	73
6.1.1.	IS X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	76
6.1.2.	IS X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.	76
6.1.3.	IS X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.	77
6.1.4.	IS X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.	78



6.1.5.	IS X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	79
6.1.6.	IS X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.	80
6.1.7.	IS X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.	81
6.1.8.	IS X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.	82
6.1.9.	IS X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	83
6.1.10.	IS X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.	84
6.1.11.	IS X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.	85
6.1.12.	IS X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.	86
6.1.13.	IS X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	87
6.1.14.	IS X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.	88
6.1.15.	IS X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.	89
6.1.16.	IS X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.	90
6.1.17.	IS X TV - HORMIGÓN 5 (HL5), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	91
6.1.18.	IS X TV - HORMIGÓN 6 (HL6), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	92
6.1.19.	IS X TV - HORMIGÓN 7 (HL7), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	93
6.1.20.	IS X TV - HORMIGÓN 8 (HL8), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	94
6.2.	COMENTARIOS SOBRE LOS RESULTADOS DEL APARTADO 6.1	95
6.3.	RESULTADOS: DENSIDADES REALES SECAS (DRS) VERSUS TIEMPO DE VIBRADO (TV).	97
6.3.1.	DRS X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	100
6.3.2.	DRS X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.	100
6.3.3.	DRS X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.	101
6.3.4.	DRS X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.	102
6.3.5.	DRS X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	103
6.3.6.	DRS X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.	103
6.3.7.	DRS X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.	104
6.3.8.	DRS X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.	105
6.3.9.	DRS X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	106
6.3.10.	DRS X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.	106
6.3.11.	DRS X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.	107
6.3.1.	DRS X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.	108
6.3.2.	DRS X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	109



6.3.3.	DRS X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.	110
6.3.4.	DRS X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.	111
6.3.5.	DRS X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.	111
6.3.6.	DRS X TV - HORMIGÓN 5 (HL5), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	112
6.3.7.	DRS X TV - HORMIGÓN 6 (HL6), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	113
6.3.8.	DRS X TV - HORMIGÓN 7 (HL7), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	114
6.3.9.	DRS X TV - HORMIGÓN 8 (HL8), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	114
6.4.	COMENTARIOS SOBRE LOS RESULTADOS DEL APARTADO 6.3	115
6.5.	RESULTADOS: VELOCIDAD DE PASO DE LAS ONDAS DE ULTRASONIDO (VPU) VERSUS TIEMPO DE VIBRADO (TV)	116
6.5.1.	VPU X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	119
6.5.2.	VPU X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.	119
6.5.3.	VPU X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.	119
6.5.4.	VPU X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.	120
6.5.5.	VPU X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	120
6.5.6.	VPU X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.	121
6.5.7.	VPU X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.	121
6.5.8.	VPU X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.	122
6.5.9.	VPU X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	122
6.5.10.	VPU X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.	123
6.5.11.	VPU X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.	123
6.5.12.	VPU X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.	124
6.5.13.	VPU X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	124
6.5.14.	VPU X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.	125
6.5.15.	VPU X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.	125
6.5.16.	VPU X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.	126
6.5.17.	VPU X TV - HORMIGÓN 5 (HL5), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	126
6.5.18.	VPU X TV - HORMIGÓN 6 (HL6), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	127
6.5.19.	VPU X TV - HORMIGÓN 7 (HL7), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	127
6.5.20.	VPU X TV - HORMIGÓN 8 (HL8), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	128
6.6.	COMENTARIOS SOBRE LOS RESULTADOS DEL APARTADO 6.5	128
6.7.	RESULTADOS: RESISTENCIA A COMPRESIÓN (FC) VERSUS TIEMPO DE VIBRADO (TV)	129





6.7.1.	FC X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	134
6.7.2.	FC X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.	135
6.7.3.	FC X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.	136
6.7.4.	FC X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.	137
6.7.5.	FC X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	139
6.7.6.	FC X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.	140
6.7.7.	FC X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.	141
6.7.8.	FC X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.	142
6.7.9.	FC X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	144
6.7.10.	FC X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.	145
6.7.11.	FC X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.	146
6.7.12.	FC X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.	147
6.7.13.	FC X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.	149
6.7.14.	FC X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.	150
6.7.15.	FC X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.	151
6.7.16.	FC X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.	152
6.8.	COMENTARIOS SOBRE LOS RESULTADOS DEL APARTADO 6.7	154
7.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.	155
7.1.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO VERIFICANDO LA INFLUENCIA DE CADA VARIABLE EXPLICATIVA EN LA SEGREGACIÓN	155
7.1.1.	INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE FABRICACIÓN EN LA SEGREGACIÓN	155
7.1.1.1.	VIBRADO EN UNA CAPA VERSUS VIBRADO EN DOS CAPAS	155
7.1.1.2.	INFLUENCIA DEL TIEMPO DE FABRICACIÓN EN LA SEGREGACIÓN	157
7.1.1.1.	INFLUENCIA DE LA CONSISTENCIA DEL HORMIGÓN EN LA SEGREGACIÓN	159
7.1.1.2.	INFLUENCIA DEL TIEMPO DE VIBRACIÓN EN LA SEGREGACIÓN	161
7.1.2.	INFLUENCIAS DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN EN LA SEGREGACIÓN	163
7.1.2.1.	INFLUENCIA DE LA DENSIDAD SECA DEL HORMIGÓN EN LA SEGREGACIÓN	163
7.1.3.	INFLUENCIAS DE LOS ÁRIDOS LIGEROS EN LA SEGREGACIÓN	165
7.1.3.1.	INFLUENCIA DEL TIPO DE ÁRIDO EN LA SEGREGACIÓN	166



7.1.3.2.	INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE LOS ÁRIDOS EN LA SEGREGACIÓN	167
7.1.3.3.	INFLUENCIA DEL TAMAÑO MÁXIMO DE LOS ÁRIDOS EN LA SEGREGACIÓN	169
7.2.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO VERIFICANDO LA INTERSECCIÓN DE MÚLTIPLES VARIABLES EXPLICATIVAS Y LA SEGREGACIÓN	171
7.3.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO VERIFICANDO LA INFLUENCIA DE LA SEGREGACIÓN EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN.	175
9.	CONCLUSIONES	182
	REFERENCIAS	184



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - A la izquierda, la cúpula del Panteón y a la derecha el Coliseo de Roma. Fuente: elaboración propia. ....	31
Figura 2 - Izquierda: hormigón con áridos ligeros (HAL). Centro: hormigón celular (HC). Derecha: hormigón sin árido fino (HSAF) [4]. ....	33
Figura 3 - Clasificación de los materiales empleados en la fabricación de hormigones ligeros y el tipo de hormigón que se espera conseguir con el empleo de los mismos, adaptado de Asgeirsson 1998 [18] y EHE-08 [5]. ....	35
Figura 4 - Evolución de la velocidad de corrosión en función del tiempo, para barras de acero inmersas en probetas de hormigón con 5% de cloruros, en ambientes a 30°, 40° y 50 °C respectivamente. LWC (hormigón ligero), SSC (hormigón autocompactante) y OC (hormigón convencional). ....	40
Figura 5 - % de pérdida de masa de las muestras en hormigones contaminados con 5% de cloruros, en ambientes a 30°, 40° y 50 °C. LWC (hormigón ligero), SSC (hormigón autocompactante) y OC (hormigón convencional). ....	40
Figura 6 - Resultados de Kavali [30]: la profundidad de penetración y concentración de cloruros en hormigones ligeros para distintos tiempos de exposición. ....	41
Figura 7 - Concentración de cloruros en función del tiempo de exposición para hormigones ligeros (LWHS) y convencionales con media (MS) y alta resistencia (HS), según los estudios de Kayali [30]. ....	41
Figura 8 - Influencia del tiempo de vibración en el grado de compactación de hormigones con distintas consistencias [32]. ....	44
Figura 9 - Rebanadas superior e inferior de un cilindro para la obtención del índice de segregación según Ke [61]. ....	48
Figura 10 - Escala propuesta por Barbosa et al para clasificar la uniformidad de los áridos según el índice S calculado en su método [55]. ....	48
Figura 11 - Probetas con distintos grados de segregación según Navarrete-Lopez [67]. ....	50
Figura 12 - a) Velocidad de ondas P versus Densidad. b) Velocidad de ondas P versus Porosidad. Resultados de los estudios de Chen et al [74] en basaltos. ....	51
Figura 13 - Metodología experimental. ....	55
Figura 14 - Izquierda: corte vertical de los cilindros en dos mitades. Derecha: fotografía de las mitades de probeta. ....	56
Figura 15 - Tratamiento de imágenes y binarización realizados en Image J. ....	57
Figura 16 - Matriz binaria de blancos y negros ....	58
Figura 17 - Número mínimo de subsecciones para obtener una buena precisión (método de Solak). ....	60
Figura 18 - Probetas sintéticas. P1, P2 y P3: IAG= 10%; P4, P5 y P6: IAG=25%; P7, P8 y P9: IAG=50%. ....	62



Figura 19 - UNIR.xlsm es la herramienta para unificar las todas las muestras en un unico archivo (AI_Serie_Matrices.xlsx) antes de la análisis de los datos.....	63
Figura 20 - AI_Serie_Matrices.xlsx es el archivo para ejecutar la segunda Macro pulsando el botón “Calculate Segregation Index of all samples”. Todas las muestras ya han sido previamente inidas en en un mismmo archivo, y cada hoja de cálculo representa una matriz de blancos y negros .....	63
Figura 21 - Fichas de Segregación, de la izquierda para la derecha: Tabla de resultados, representación gráfica de la muestra, perfil de densidades y perfil de segregación. ....	64
Figura 22 - Densidades de las mitades de probeta: datos obtenidos por via experimental versus datos obtenidos por análisis de imágenes. ....	66
Figura 23 - Densidades de los octavos de probeta: datos obtenidos por via experimental versus datos obtenidos por análisis de imágenes. ....	67
Figura 24 - Índice de segregación de Ke [61]: datos obtenidos por via experimental versus datos obtenidos por análisis de imágenes.....	68
Figura 25 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 15 min .....	76
Figura 26 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 15 min .....	76
Figura 27 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 30 min .....	77
Figura 28 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 30 min .....	77
Figura 29 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min .....	78
Figura 30 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min .....	78
Figura 31 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 90 min .....	79
Figura 32 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min .....	79
Figura 33 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 15 min .....	80
Figura 34 -Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 15 min .....	80
Figura 35 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 30 min .....	81
Figura 36 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 30 min .....	81



Figura 37 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 60 min .....	82
Figura 38 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 60 min .....	82
Figura 39 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 90 min .....	83
Figura 40 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 90 min .....	83
Figura 41 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 15 min .....	84
Figura 42 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 15 min .....	84
Figura 43 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 30 min .....	85
Figura 44 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 30 min .....	85
Figura 45 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 60 min .....	86
Figura 46 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 60 min .....	86
Figura 47 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 90 min .....	87
Figura 48 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 90 min .....	87
Figura 49 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 15 min .....	88
Figura 50 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 15 min .....	88
Figura 51 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 30 min .....	89
Figura 52 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 30 min .....	89
Figura 53 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 60 min .....	90
Figura 54 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 60 min .....	90



Figura 55 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 90 min .....	91
Figura 56 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 90 min .....	91
Figura 57 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 5 (HL5), tiempo de fabricación de 15 min .....	92
Figura 58 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 5 (HL5), tiempo de fabricación de 15 min .....	92
Figura 59 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 6 (HL6), tiempo de fabricación de 15 min .....	93
Figura 60 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 6 (HL6), tiempo de fabricación de 15 min .....	93
Figura 61 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 7 (HL7), tiempo de fabricación de 15 min .....	94
Figura 62 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 7 (HL7), tiempo de fabricación de 15 min .....	94
Figura 63 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 8 (HL8), tiempo de fabricación de 15 min .....	95
Figura 64 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 8 (HL8), tiempo de fabricación de 15 min .....	95
Figura 65 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 15 min .....	100
Figura 66 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 15 min .....	100
Figura 67 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 30 min .....	101
Figura 68 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 30 min .....	101
Figura 69 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min .....	101
Figura 70 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min .....	102
Figura 71 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min .....	102
Figura 72 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min .....	102



Figura 73 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 15 min .....	103
Figura 74 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 15 min .....	103
Figura 75 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 30 min .....	104
Figura 76 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 30 min .....	104
Figura 77 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 60 min .....	104
Figura 78 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 60 min .....	105
Figura 79 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 90 min .....	105
Figura 80 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 90 min .....	105
Figura 81 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 15 min .....	106
Figura 82 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 15 min .....	106
Figura 83 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 30 min .....	107
Figura 84 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 30 min .....	107
Figura 85 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 60 min .....	108
Figura 86 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 60 min .....	108
Figura 87 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 90 min .....	108
Figura 88 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 90 min .....	109
Figura 89 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 15 min .....	109
Figura 90 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 15 min .....	110





Figura 91 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 30 min .....	110
Figura 92 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 30 min .....	110
Figura 93 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 60 min .....	111
Figura 94 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 60 min .....	111
Figura 95 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 90 min .....	112
Figura 96 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 90 min .....	112
Figura 97 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 5 (HL5), tiempo de fabricación de 15 min .....	112
Figura 98 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 5 (HL5), tiempo de fabricación de 15 min .....	113
Figura 99 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 6 (HL6), tiempo de fabricación de 15 min .....	113
Figura 100 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 6 (HL6), tiempo de fabricación de 15 min .....	113
Figura 101 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 7 (HL7), tiempo de fabricación de 15 min .....	114
Figura 102 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 7 (HL7), tiempo de fabricación de 15 min .....	114
Figura 103 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 8 (HL8), tiempo de fabricación de 15 min .....	115
Figura 104 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 8 (HL8), tiempo de fabricación de 15 min .....	115
Figura 105 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 15 min .....	119
Figura 106 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 30 min .....	119
Figura 107 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min .....	120
Figura 108 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 90 min .....	120





Figura 109 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 15 min .....	121
Figura 110 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 30 min .....	121
Figura 111 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 60 min .....	122
Figura 112 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 90 min .....	122
Figura 113 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 15 min .....	123
Figura 114 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 30 min .....	123
Figura 115 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 60 min .....	124
Figura 116 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 90 min .....	124
Figura 117 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 15 min .....	125
Figura 118 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 30 min .....	125
Figura 119 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 60 min .....	126
Figura 120 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 90 min .....	126
Figura 121 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 5 (HL5), tiempo de fabricación de 15 min .....	127
Figura 122 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 6 (HL6), tiempo de fabricación de 15 min .....	127
Figura 123 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 7 (HL7), tiempo de fabricación de 15 min .....	128
Figura 124 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 8 (HL8), tiempo de fabricación de 15 min .....	128
Figura 125 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 15 min	134
Figura 126 - Variación de la relación $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 15 min .....	134



Figura 127 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 15 min.....	135
Figura 128 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 30 min.....	135
Figura 129 - Variación de la relación $f_{c_{octavo superior}}/f_{c_{octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 30 min .....	136
Figura 130 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 30 min.....	136
Figura 131 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min.....	137
Figura 132 - Variación de la relación $f_{c_{octavo superior}}/f_{c_{octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min .....	137
Figura 133 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min.....	137
Figura 134 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 90 min.....	138
Figura 135 - Variación de la relación $f_{c_{octavo superior}}/f_{c_{octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 90 min .....	138
Figura 136 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 90 min.....	138
Figura 137 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 15 min.....	139
Figura 138 - Variación de la relación $f_{c_{octavo superior}}/f_{c_{octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 15 min .....	139
Figura 139 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 15 min.....	140
Figura 140 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 30 min.....	140
Figura 141 - Variación de la relación $f_{c_{octavo superior}}/f_{c_{octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 30 min .....	141
Figura 142 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 30 min.....	141



Figura 143 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 60 min	142
Figura 144 - Variación de la relación $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 60 min	142
Figura 145 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 60 min	142
Figura 146 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 90 min	143
Figura 147 - Variación de la relación $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 90 min	143
Figura 148 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 90 min	143
Figura 149 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 15 min	144
Figura 150 - Variación de la relación $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 15 min	144
Figura 151 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 15 min	145
Figura 152 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 30 min	145
Figura 153 - Variación de la relación $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 30 min	146
Figura 154 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 30 min	146
Figura 155 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 60 min	147
Figura 156 - Variación de la relación $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 60 min	147
Figura 157 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 60 min	147
Figura 158 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 90 min	148



Figura 159 - Variación de la relación $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 90 min .....	148
Figura 160 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 90 min.....	148
Figura 161 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 15 min	149
Figura 162 - Variación de la relación $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 15 min .....	149
Figura 163 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 15 min.....	150
Figura 164 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 30 min	150
Figura 165 - Variación de la relación $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 30 min .....	151
Figura 166 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 30 min.....	151
Figura 167 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 60 min	152
Figura 168 - Variación de la relación $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 60 min .....	152
Figura 169 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 60 min.....	152
Figura 170 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 90 min	153
Figura 171 - Variación de la relación $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 90 min .....	153
Figura 172 - Fc mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 90 min.....	153
Figura 173 - Frecuencia de los datos cualitativos, vibrado de las probetas en una o dos capas. ....	155
Figura 174 - Frecuencia de los datos cualitativos, tiempo de espera entre la mezcla de los materiales en la hormigonera y la colocación/vibración del hormigón en los moldes cilíndricos.....	157
Figura 175 - Variación de la consistencia del hormigón con el transcurrir del tiempo.....	159



Figura 176 - Frecuencia de los datos cualitativos, consistencia del hormigón .....	160
Figura 177 - Frecuencia de los datos cualitativos, tiempo de vibración total por probeta. ....	161
Figura 178 - Frecuencia de los datos cualitativos, densidad real del hormigón. ....	164
Figura 179 - Frecuencia de los datos cualitativos, tipos de áridos. ....	166
Figura 180 - Frecuencia de los datos cualitativos, densidad de los áridos ligeros. ....	168
Figura 181 - Frecuencia de los datos cualitativos, tamaño máximo de los áridos ligeros. ....	170
Figura 182 - Frecuencia de los datos cualitativos, grupos de análisis comparando la intersección de múltiples variables explicativas. ....	172
Figura 183 - Índice de Segregación por Ultrasonidos versus tiempo total de vibración, análisis por grupos. ....	173
Figura 184 - Índice de Segregación de Ke et al versus tiempo total de vibración, análisis por grupos. ....	174
Figura 185 - Índice de Segregación de Ke et al por análisis de imágenes versus tiempo total de vibración, análisis por grupos. ....	174
Figura 186 - Índice de Segregación de Navarrete-Lopez versus tiempo total de vibración, análisis por grupos. ....	175
Figura 187 - Índice de Segregación de Solak versus tiempo total de vibración, análisis por grupos. ....	175
Figura 188 - Frecuencia de los datos cualitativos, Índice de Segregación de Solak. ....	176
Figura 189 - Incremento de la resistencia a compresión en función de la segregación (análisis conjunto). ....	178
Figura 190 - Incremento de la resistencia a compresión en función de la segregación (análisis por tipo de hormigón). ....	178
Figura 191 - Descenso de la resistencia a compresión en función de la segregación (análisis conjunto). ....	179
Figura 192 - Descenso de la resistencia a compresión en función de la segregación (análisis por tipo de hormigón). ....	180
Figura 193 - Frecuencia de la sección crítica en cada octavo, para cada tiempo de vibrado (fabricado en dos capas) .....	181
Figura 194 - Frecuencia de la sección crítica en cada octavo, para cada tiempo de vibrado (fabricado en una capa) .....	181



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Densidad del hormigón ligero, según diferentes referencias .....	29
Tabla 2. Grados de segregación según Navarrete-Lopez [67] .....	49
Tabla 3 - Características de los hormigones fabricados .....	52
Tabla 4 - Cantidades de materiales necesarias para la producción de un m <sup>3</sup> de hormigón .....	52
Tabla 5 - Características físicas de los materiales utilizados .....	53
Tabla 6. Distribución granulométrica de los áridos utilizados .....	53
Tabla 7 - Caracterización de las matrices de mortero por tipo de hormigón.....	54
Tabla 8 - Características de los datos utilizados en el estudio estadístico.....	68
Tabla 9 - Matriz de correlaciones de Pearson entre los Índices de Segregación estudiados. ....	69
Tabla 10- Matriz de valores-p .....	70
Tabla 11 - Comparativo entre los métodos de cuantificación de la segregación estudiados.....	71
Tabla 12 - Resultados: índices de segregación según diversos autores, de acuerdo con las propiedades de cada hormigón y el tiempo de vibrado. ....	75
Tabla 13 - Resultados: densidades reales secas, medidas experimentalmente, de acuerdo con las propiedades de cada hormigón y el tiempo de vibrado.....	99
Tabla 14 - Resultados: velocidades de paso de las ondas ultrasónicas, de acuerdo con las propiedades de cada hormigón y el tiempo de vibrado. ....	118
Tabla 15 - Resultados: resistencias a compresión, de acuerdo con las propiedades de cada hormigón y el tiempo de vibrado. ....	133
Tabla 16 - Resultados del ANOVA en la verificación de la influencia del tipo de vibrado en la segregación del hormigón.....	156
Tabla 17 - Resultados del Test de Tukey clasificando las categorías “vibrado en 1 capa” y “vibrado en 2 capas” en grupos para posteriores análisis. ....	157
Tabla 18 - Resultados del ANOVA en la verificación de la influencia del tiempo de fabricación en la segregación del hormigón. ....	158
Tabla 19 - Resultados del Test de Tukey clasificando las categorías “15 min”, “30 min”, “60 min” y “90 min” en un único grupo de análisis.....	159
Tabla 20 - Resultados del ANOVA en la verificación de la influencia de la consistencia en la segregación del hormigón.....	161
Tabla 21 - Resultados del ANOVA en la verificación de la influencia del tiempo de vibrado en la segregación del hormigón. ....	162
Tabla 22 - Resultados del Test de Tukey clasificando las categorías “0 s”, “5 s”, “10 s”, “20 s”, “40 s”, “80 s” y “160 s” en grupos de análisis.....	163



Tabla 23 - Estadísticos descriptivos de los datos referentes a las densidades reales secas obtenidas por el método de la balanza hidrostática. ....	163
Tabla 24 - Estadísticos descriptivos de los datos referentes a las densidades reales secas obtenidas por el método de la balanza hidrostática agrupadas para el ANOVA. ....	164
Tabla 25 - Resultados del ANOVA en la verificación de la influencia de la densidad real seca en la segregación del hormigón. ....	165
Tabla 26 - Resultados del Test de Tukey clasificando las categorías de densidad real seca del hormigón en grupos de análisis. ....	165
Tabla 27 - Resultados del ANOVA en la verificación de la influencia del tipo de árido en la segregación del hormigón. ....	167
Tabla 28 - Resultados del Test de Tukey clasificando las categorías “HS”, “LTSH”, “M” y “LTM” en grupos de análisis. ....	167
Tabla 29 - Resultados del ANOVA en la verificación de la influencia de la densidad de los áridos en la segregación del hormigón. ....	168
Tabla 30 - Resultados del Test de Tukey clasificando las categorías “269 kg/m <sup>3</sup> ”, “276 kg/m <sup>3</sup> ”, “610 kg/m <sup>3</sup> ” y “676 kg/m <sup>3</sup> ” (densidad de los áridos) en grupos de análisis. ....	169
Tabla 31 - Resultados del ANOVA en la verificación de la influencia del tamaño máximo del árido en la segregación. ....	171
Tabla 32 - Resultados del Test de Tukey clasificando las categorías “12 mm” y “16 mm” (tamaño máximo del árido) en grupos de análisis. ....	171
Tabla 33 - Grupos para el análisis comparando la intersección de múltiples variables explicativas y la segregación. ....	172
Tabla 34 - Resultados de la Correlación de Pearson entre el Índice de Segregación y el tiempo de vibración para los métodos y grupos de datos estudiados. ....	173
Tabla 35 - Resultados de los valores-p entre el Índice de Segregación y el tiempo de vibración para los métodos y grupos de datos estudiados. ....	173
Tabla 36 - Resultados del ANOVA en la verificación de la influencia de la segregación en la resistencia a compresión del hormigón. ....	176
Tabla 37 - Resultados del Test de Tukey clasificando las categorías $10\% \geq I_{\text{Solak}} > 20\%$ ; $20\% \geq I_{\text{Solak}} > 30\%$ ; $30\% \geq I_{\text{Solak}} > 40\%$ y $40\% \geq I_{\text{Solak}} > 50\%$ en grupos de análisis. ....	177





## ÍNDICE DE SIGLAS

Con el fin de una mejor comprensión de los conceptos tratados en este trabajo se adjunta, a principales referidos, a la identificación de términos utilizados con frecuencia en este trabajo:

<b>HL</b>	Hormigón ligero
<b>HLE</b>	Hormigón ligero estructural
<b>HAL</b>	Hormigón de áridos ligeros
<b>AL</b>	Áridos ligeros
<b>HSAF</b>	Hormigón sin árido fino
<b>HC</b>	Hormigón celular
<b>IS<sub>Ultrasonidos</sub></b>	Índice de Segregación obtenido por Ultrasonidos
<b>IS<sub>KE</sub></b>	Índice de Segregación propuesto por Ke et al
<b>IS<sub>KE AI</sub></b>	Índice de Segregación propuesto por Ke et al por análisis de imágenes
<b>IS<sub>Navarrete-Lopez</sub></b>	Índice de Segregación propuesto por Lopez - Navarrete - Esmailkhanian
<b>IS<sub>Solak</sub></b>	Índice de Segregación propuesto en este trabajo
<b>I<sub>corr</sub></b>	Velocidad de corrosión
<b>LWC</b>	Sigla en inglés para hormigón ligero (Lightweight concrete)
<b>SSC</b>	Sigla en inglés para hormigón autocompactante (Self-consolidating concrete)
<b>OC</b>	Sigla en inglés para hormigón convencional (Ordinary concrete)
<b>IAL</b>	Índice de Áridos Local
<b>IAG</b>	Índice de Áridos Global
<b>DLA</b>	Desviación Local Absoluta





## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. OBJETIVO**

El objetivo principal de este estudio fue evaluar la segregación de un hormigón ligero provocando su segregación mediante diferentes tiempos de vibrado interno en probetas fabricadas en laboratorio y verificar la viabilidad de aplicar un método de análisis de imágenes para este fin.

El estudio teórico ha revelado que previamente otros autores han propuesto otros índices de segregación tanto por vías experimentales como por análisis de imágenes. En la primera fase del estudio se obtuvieron los índices de segregación encontrados en la bibliografía. Para ello las probetas de hormigón ligero se seccionaron horizontalmente calculando el índice de segregación mediante la relación existente entre la densidad de la sección superior y la inferior.

Conociendo las propiedades físicas del mortero y de los áridos, y mediante la técnica de análisis de imagen 2D, se estimó la proporción entre áridos y mortero para las mismas secciones obteniéndose sus densidades y así un segundo índice de segregación, en este caso, por análisis de imagen. La validación del método de análisis de imagen se realizó comparando los datos obtenidos experimentalmente y por análisis de imágenes.

Una vez validado el método por análisis de imágenes, se propone un nuevo índice de segregación que se ajusta mejor a las características del hormigón estudiado y que representa con mayor precisión el fenómeno de la segregación. La etapa siguiente fue comparar los índices de segregación previamente propuestos por la bibliografía con este nuevo índice, buscando encontrar correlaciones entre los métodos de cuantificación de la segregación.

Para evaluar las influencias de los parámetros de fabricación y de las características del hormigón en la segregación, se han relacionado los tiempos de vibración utilizados para la fabricación del hormigón con todos los datos de densidades y los índices de segregación obtenidos con el fin de analizar las posibles correlaciones y analizar el fenómeno. Como complemento al estudio de la segregación, se realizó una extensa campaña de ultrasonidos, midiendo la velocidad de propagación de los impulsos ultrasónicos con intención de comparar estos resultados con los demás procedimientos. Por último, utilizando datos de resistencia a compresión obtenidos a través de la extracción de testigos de diferentes secciones de las probetas, se evaluó la influencia de la segregación en la resistencia mecánica de los hormigones estudiados.

A pesar de las diferencias que existen entre la compactación del hormigón en condiciones de obra y laboratorio, ya que en el último está controlado, este estudio puede reflejar las incidencias que puede provocar excesos o defectos en la vibración.



## 1.2. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

El trabajo se compone de este primer capítulo introductorio en el que se explica el objetivo que se pretende conseguir con la investigación y se realiza una breve descripción de los antecedentes referentes a la investigación de la segregación en hormigones ligeros.

En el segundo capítulo se repasa el estado del arte, explicándose diversos conceptos que se han empleado para la realización del estudio y explanando varios aspectos históricos del uso de los hormigones ligeros. En el segundo capítulo son presentados los tipos de áridos y hormigones ligeros comúnmente utilizados en España en el resto del mundo; aspectos del comportamiento de estos hormigones durante las etapas de producción, puesta en obra y compactación y los diversos métodos propuestos para la cuantificación del fenómeno de segregación encontrados en la bibliografía.

En el tercer capítulo se realiza una descripción de los materiales utilizados en esta investigación, mencionando los criterios y dosificaciones adoptados para la producción de los hormigones e indicándose la procedencia y los ensayos utilizados para la caracterización de cada material.

El cuarto capítulo es dedicado a describir la metodología empleada en este estudio, explicando los criterios y cuidados adoptados en la confección de las probetas; las fases experimentales de curado, fotografiado y corte de las muestras; las tomas de datos tanto por vías experimentales como por análisis de imágenes. En este capítulo también se define el procedimiento para estimar el Índice de Segregación de Solak ( $I_{Solak}$ ), que es uno de los objetivos de este trabajo.

En el quinto capítulo, los resultados de densidad y segregación obtenidos por el método de experimental son comparados con los resultados obtenidos por análisis de imágenes. El objetivo de este estudio comparativo es evaluar el desempeño del método por análisis de imágenes y verificar su validez. Además, en este capítulo se comparan todos los índices de segregación utilizados en esta investigación ( $I_{S_{Ultrasonidos}}$ ,  $I_{S_{KE}}$ ,  $I_{S_{KE AI}}$ ,  $I_{S_{Navarrete-Lopez}}$ ,  $I_{S_{Solak}}$ ) buscando evaluar su precisión, su correlación con los demás métodos, el origen de sus datos, sus ventajas y desventajas

En el sexto capítulo se presentan los resultados referentes a las densidades, índices de segregación, velocidades de paso de ultrasonido y resistencia a compresión obtenidos para cada tiempo de vibrado. Los resultados son presentados de acuerdo con las características de cada hormigón y su tiempo de fabricación.

En el séptimo capítulo, los índices de segregación calculados según los diferentes métodos presentados anteriormente son comparados con los resultados referentes a las propiedades del hormigón y de su fabricación. El objetivo es discutir, a través de un análisis estadístico, la influencia de cada parámetro de fabricación (número de capas, tiempo de fabricación, consistencia, tiempo de vibrado); de la naturaleza del hormigón (densidad real) y de la naturaleza de los materiales utilizados (tamaño y densidad de los áridos) en la segregación de las muestras. En este apartado también se verifica, a través de los datos de resistencia a compresión obtenidos de la extracción de testigos de



diferentes secciones de las probetas, la influencia de la segregación en la resistencia mecánica de los hormigones estudiados.

Finalmente, en el octavo capítulo se establecen las conclusiones de la investigación.

.



## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1. GENERALIDADES

El uso de hormigones ligeros permite mayor flexibilidad en el diseño y un ahorro en los costes debido al descenso en las cargas muertas, descenso en los costes de cimentación, etc.[1-3]. Además, la reducción en la densidad del hormigón produce un incremento en la resistencia térmica mejorando la eficiencia energética de los edificios construidos con este tipo de material.

Los hormigones ligeros, en consecuencia de la sustitución de parte de sus materiales sólidos por aire, se caracterizan por presentar valores inferiores de masa específica cuando se comparan con hormigones convencionales. Estos hormigones se pueden clasificar como hormigón con áridos ligeros (HAL), hormigón celular (HC) y hormigones sin árido fino (HSAF). Los hormigones ligeros usualmente utilizados para aplicaciones estructurales son los hormigones con áridos ligeros, obtenidos, generalmente, mediante la sustitución total o parcial de los áridos convencionales por áridos ligeros y, mismo con algunas variaciones en los valores encontrados en la bibliografía (véase Tabla 1), son caracterizados por presentar masas específicas inferiores a los 2000 kg/m<sup>3</sup> [4].

Referencia	Masa específica Aparente (kg/m <sup>3</sup> )
ABNT NBR 12655 (2015)	$\gamma < 2000$
EHE-08 (2008)	$1200 < \gamma < 2000$
EUROCODE 2 (2004)	$\gamma < 2200$
ACI 213R-03 (2003)	$1120 < \gamma < 1920$
NS 3473 (2003)	$1200 < \gamma < 2000$

**Tabla 1 - Densidad del hormigón ligero, según diferentes referencias**

El Anejo 16 de la EHE-08 [5] define como hormigón ligero estructural (HLE) aquel hormigón de estructura cerrada, cuya densidad aparente, medida en condición de seco hasta peso constante, es inferior a 2000 kg/m<sup>3</sup> pero superior a 1200 kg/m<sup>3</sup> y que contiene una cierta proporción de árido ligero, tanto natural como artificial. Se excluye a los hormigones celulares, tanto de curado estándar como curados en autoclave.

La Sección 11 del Eurocódigo 2 [6] define que un hormigón de áridos ligeros es un hormigón de estructura cerrada y con densidad no superior a 2200 kg/m<sup>3</sup>, que contenga áridos ligeros naturales o artificiales con densidad inferior 2000 kg/m<sup>3</sup>.

El ACI 213-R [7] define como hormigón estructural con áridos ligeros, el hormigón fabricado con áridos ligeros según las definiciones de la ASTM C330 [8], con una resistencia a compresión mínima de 17 MPa a los 28 días y una densidad entre 1120 y 1920 kg/m<sup>3</sup>, y puede estar compuesto integralmente por áridos ligeros o por una combinación entre áridos ligeros y áridos convencionales.

La normativa brasileña, ABNT NBR 12655 [9], define hormigón ligero como un hormigón con densidad seca inferior a 2000 kg/m<sup>3</sup>.



La normativa noruega [10] define hormigón con áridos ligeros como un hormigón con densidad seca entre 1200 y 2000kg/m<sup>3</sup>.

Los áridos utilizados en hormigones ligeros pueden ser clasificados en naturales o artificiales. Los áridos naturales son obtenidos mediante la extracción directa de yacimientos, que posteriormente pasan por una clasificación en función de su granulometría. En la actualidad este tipo de árido es poco utilizado en hormigones ligeros debido a que suelen existir grandes variaciones en sus propiedades y las localizaciones de los yacimientos hacen que no sea viable su utilización. Son ejemplos de áridos ligeros naturales la piedra pómez y las escorias volcánicas [11].

## **2.2. CONTEXTO HISTÓRICO**

Los primeros registros del uso de hormigones ligeros que son de hace 2000 años, los áridos ligeros naturales fueron utilizados de forma muy común. Una serie de estructuras importantes han sido confeccionadas con hormigón ligero (HL) en la región del Mediterráneo, pero las tres que más destacan, construidas durante el Imperio Romano, son el Puerto de Cosa (273 a.C.), la Cúpula del Panteón de Roma (27 a.C.) y el Coliseo (entre 75 y 80 d.C.) [7].

En la construcción del Puerto de Cosa, el hormigón ligero estructural (HLE) se confeccionó con materiales volcánicos naturales. Los constructores de su época observaron que los áridos expandidos presentaban mejores prestaciones en estructuras portuarias que los áridos de las playas cercanas. Los áridos volcánicos eran extraídos de una cantera situada a 40 km al noroeste del puerto y transportados a pie de obra para la construcción de cuatro muelles que se adentraban al mar. Durante dos milenios los muelles han resistido a las fuerzas de la naturaleza sufriendo solamente abrasiones superficiales y, por la sedimentación del puerto, dejaron de ser útiles [12] .

La Cúpula del Panteón Romano (Figura 1 izquierda), construida con piedra pómez y con 43,3 metros de diámetro, presentó una serie de innovaciones en busca de mejoras estructurales. Tanto el espesor de la cúpula como las densidades del hormigón utilizadas para su construcción son variables (mayores en la base y menores en la zona más alta) y para reducir todavía más las cargas-muertas se construyeron nichos utilizando sistemas de encofrado de madera. La estructura sigue siendo utilizada en la actualidad para ceremonias religiosas [12] .

En el Coliseo (Figura 1 derecha), un anfiteatro construido para acomodar 50 mil espectadores sentados, se utilizaron áridos de machaqueo de lava volcánica en la cimentación. En el hormigón utilizado en los muros y particiones, se añadieron áridos de machaqueo de ladrillos de arcilla porosa y, para la construcción de las bóvedas que cubren los espacios entre los muros, se utilizó la toba calcárea. [7].



**Figura 1 - A la izquierda, la cúpula del Panteón y a la derecha el Coliseo de Roma. Fuente: elaboración propia.**

La aplicación del hormigón ligero por los romanos también se observa en el símbolo máximo del Imperio Romano en el Oriente, la Catedral de Santa Sofía. Construida en Imperio Bizantino por el Emperador Justiniano, en el periodo comprendido entre 532 y 537 d.C., la catedral fue proyectada por el arquitecto Isidoro de Mileto y por el matemático Antémio de Tralas [13]. Después de la caída del Imperio Romano, el uso de hormigones ligeros ha sido limitado hasta el nacimiento, en el siglo XX, de un nuevo tipo de áridos ligeros artificiales [7].

Stephen J. Hayde, un ingeniero y fabricante de cerámica inventó el proceso de fabricación de áridos ligeros en hornos rotativos. Hayde observó que, cuando la arcilla se calentaba rápidamente, la cerámica sufría una rápida expansión, se deformaba más y resultaba en un material de menor densidad. El fabricante reconoció que estos materiales que, inicialmente, eran desechados, podrían ser el material ideal para la confección de un tipo especial de hormigón. Si su tamaño fuera lo suficientemente reducido para su incorporación como árido grueso en la dosificación de hormigones ligeros, produciría un hormigón con propiedades mecánicas similares a las de propiedades de hormigones convencionales. Después de casi una década de experimentos, en 1918 Hayde patentó el procedimiento para la producción de estos áridos utilizando hornos rotativos para el calentamiento de arcillas, pizarras y esquistos [14].

La primera producción comercial de árido ligero de escoria expandida comenzó en 1928 [7]. Inicialmente, la aplicación de hormigones ligeros en estructuras se limitó a Estados Unidos y Canadá, hasta que expiró la patente de Hayde en 1946. En esta época se inició la producción de áridos ligeros en Europa, cuando Dinamarca pone en marcha la primera fábrica de áridos ligeros de arcilla expandida, que pasan a ser conocidos como LECA, la sigla en inglés para *Lightweight Expanded Clay Aggregates* [4]. Los primeros áridos ligeros para uso en hormigones estructurales empezaron a ser producidos en 1948 [7].



A principios de 1950, el hormigón de áridos ligeros (HAL), surge como una alternativa interesante en aplicaciones estructurales para cerramientos de edificios, tableros de puentes y elementos de hormigón prefabricado. Este material fue utilizado en la reconstrucción del Puente de Tacoma Narrows, siendo aplicado en el nuevo tablero, permitiendo que utilización de las pilas originales e incorporando carriles adicionales en la estructura [7].

En la década de 1950 otros edificios fueron contruidos utilizando hormigón ligero, como la Australia Square Tower (Australia) en 1967, el Park Regis (Australia) en 1968, el Standart Bank (Sudáfrica) en 1970 y el BMW Building (Alemania) en 1972. Además, en los años 1950 se inició la aplicación de hormigones ligeros para la construcción de estructura prefabricadas, una de las aplicaciones con más ventajas de este tipo de hormigón [15].

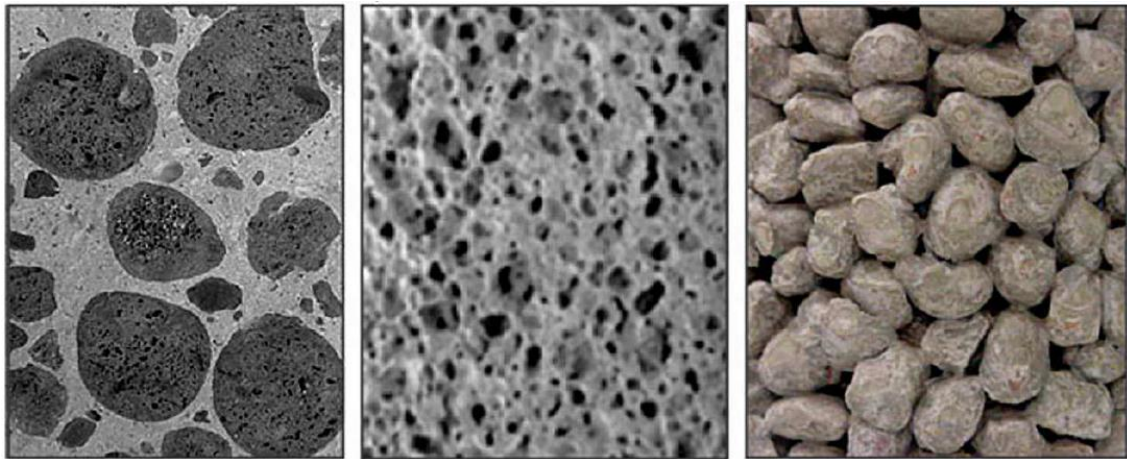
En Sudamérica, los estudios y la utilización de los hormigones ligeros comenzaron alrededor de 1970, en Brasil, con la implantación de un unidad de producción de áridos ligeros de arcilla expandida por el Grupo Rabello, actual CINEXPAN S.A, para la producción de elementos estructurales de hormigón prefabricado ligero [15]. Cabe destacar la importancia del material en la construcción de Brasilia entre los años de 1968 y 1972. El hormigón con áridos ligeros se utilizó en diversos edificios de la nueva capital, incluyendo 120 edificios de apartamentos, partes da Catedral de Brasilia, del Instituto de Ciencias de la Universidad de Brasilia y del Palacio Itamaraty [4].

Tradicionalmente, en la construcción española existe un amplio uso del hormigón y de los productos relacionados a él, tales como bloques y baldosas. El uso del material ha dado significativa importancia al HAL en la construcción de obras civiles en España. Los forjados de La Torre Picasso (1988), uno de los edificios más altos de Madrid, se ejecutaron con HAL. Las estructuras del Museo Guggenheim (1997) en Bilbao también contemplan el uso de Hormigones Ligeros. El volumen de hormigón ligero utilizado anualmente en España es de 8 a 10 mil m<sup>3</sup>, siendo el 80% bombeado [16].

### **2.3. TIPOS DE HORMIGONES LIGEROS**

La reducción de la densidad de un hormigón se puede conseguir mediante tres procedimientos y, consecuentemente, resultan tres tipos de hormigones ligeros: hormigón celular (HC), hormigón sin árido fino (HSAF) y hormigón con áridos ligeros (HAL) (véase Figura 2).





**Figura 2 - Izquierda: hormigón con áridos ligeros (HAL). Centro: hormigón celular (HC). Derecha: hormigón sin árido fino (HSAF) [4].**

### **2.3.1.HORMIGÓN SIN ÁRIDO FINO (HSAF)**

La fabricación del HSAF consiste en eliminar de un hormigón normal las fracciones más finas del árido, en general toda la fracción granulométrica 0-5mm, arena, con lo que resulta en un hormigón de tipo poroso con gran cantidad de huecos [17].

### **2.3.2.HORMIGÓN CELULAR (HC)**

En la fabricación del HC se incorpora un alto porcentaje de aire al hormigón con la adición de aire o espumantes, formando una diferente proporción de burbujas de gran tamaño y diámetro que los de hormigones con aire ocluido en el que se incorpora para mejorar determinadas propiedades de los hormigones de densidad normal. Este tipo de hormigón está prohibido para la construcción de estructuras armadas debido a la pérdida de adherencia entre este tipo de hormigones y el acero. También es conocido como hormigón aireado u hormigón espumado [17].

### **2.3.3.HORMIGÓN CON ÁRIDOS LIGEROS (HAL)**

En estos hormigones, se utilizan áridos de reducido peso específico, en general con densidades sensiblemente inferiores a  $2.600\text{kg/m}^3$ , en sustitución de los áridos con densidades convencionales. Estos materiales pueden ser áridos naturales o materiales artificiales que pueden llegar a tener densidades finales inferiores a  $300\text{ kg/m}^3$  [17].

El hormigón compuesto con algunos de estos áridos ligeros es el único apto para construir estructuras ya que, debido al desarrollo de sus propiedades, está clasificado dentro de los llamados hormigones de altas prestaciones. En estos hormigones, la resistencia a compresión que se consigue mediante la





incorporación de áridos ligeros naturales es por lo general baja. Sin embargo, la introducción de áridos ligeros manufacturados, como por ejemplo la arcilla expandida, ha permitido revolucionar los hormigones ligeros, ya que llega a alcanzar resistencias de hasta 100MPa con hormigones de densidades inferiores a 2.000kg/m<sup>3</sup>. Como dato importante cabe resaltar que la densidad aparente (o peso unitario) en el estado fresco de este tipo de hormigones es superior a la del hormigón de árido normal, ya que el peso en fresco depende del grado de saturación del árido ligero y del contenido de agua de amasado [17].

## **2.4. TIPOS DE ÁRIDOS LIGEROS**

Lo que difiere los HLAs de los hormigones convencionales es la sustitución total o parcial de los áridos convencionales por áridos ligeros [4]. En la actualidad, estos hormigones son fabricados con áridos procedentes, fundamentalmente, de arcillas expandidas, de vidrio celular y de cenizas volantes sinterizadas [17]. Los áridos ligeros artificiales son obtenidos por procedimientos industriales y son comúnmente clasificados en función de la materia prima utilizada, del proceso de fabricación [11] o del hormigón que puede ser obtenido con el empleo de los mismos [18] [5].

### **2.4.1. CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL HORMIGÓN QUE PUEDE SER OBTENIDO**

La publicación de Asgeirsson [18] y el Anexo 16 de la EHE-08 [5] clasifican los áridos ligeros en función del hormigón que puede ser obtenido con el empleo de los mismos. La Figura 3 representa esta clasificación en formato de diagrama.

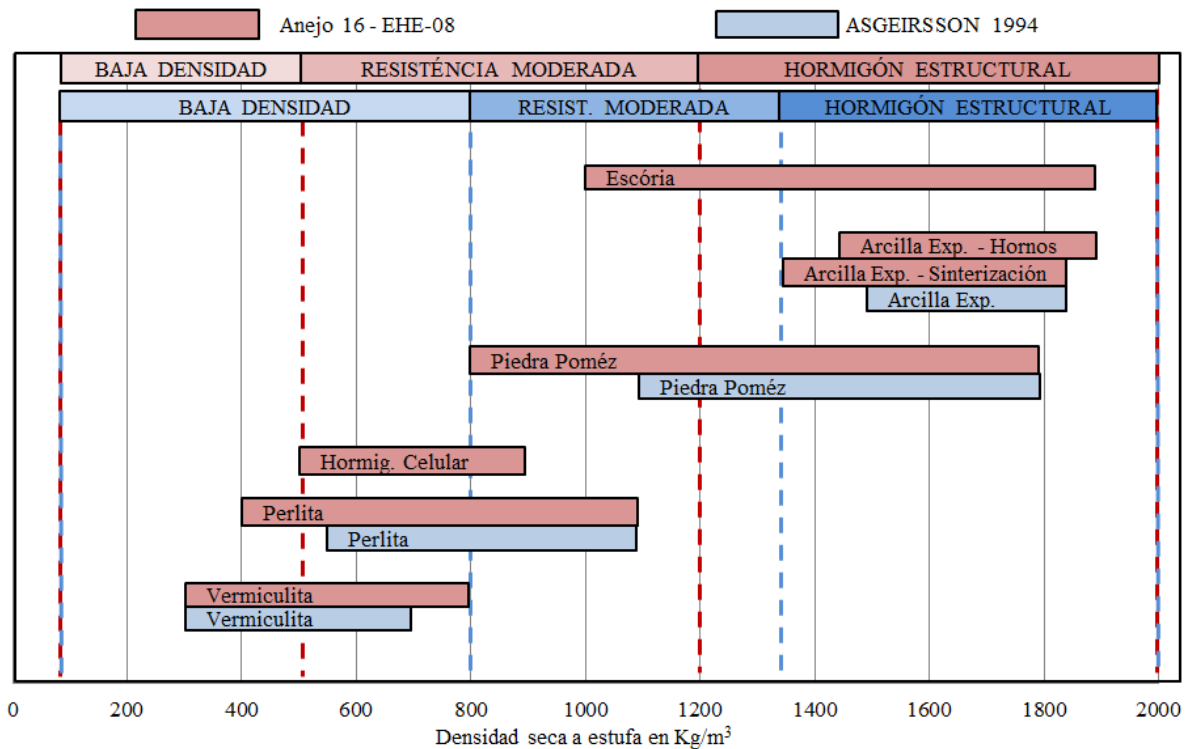


Figura 3 - Clasificación de los materiales empleados en la fabricación de hormigones ligeros y el tipo de hormigón que se espera conseguir con el empleo de los mismos, adaptado de Asgeirsson 1998 [18] y EHE-08 [5].

## 2.4.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN ORIGEN

La publicación del EurolightCon [19] también clasifica los áridos ligeros según su origen, pero sin embargo en este caso separa dichos áridos en dos grandes grupos: los áridos ligeros naturales y los áridos ligeros artificiales.

### 2.4.2.1. ÁRIDOS LIGEROS NATURALES

La mayoría de los áridos naturales son de origen volcánico, en erupciones de magma que posteriormente se solidifica, forma la piedra pómez con un estructura celular [18]. Su tratamiento consiste solamente en transporte, machaqueo y clasificación granulométrica [20]. En Islandia existen grandes canteras de piedra pómez y escorias naturales. Ambos materiales han sido utilizados como árido ligero para la construcción de edificaciones y, desde la década de los 60, se han desarrollado muchas investigaciones para estudiar la propiedades del árido ligero natural, particularmente la pumita [18].

La fina estructura celular de la matriz determina las propiedades físicas. Este fenómeno natural es único en su uniformidad microscópica. El diámetro de los poros suele estar entre 1 y 10  $\mu\text{m}$ .



#### 2.4.2.2. ÁRIDOS LIGEROS ARTIFICIALES

Los dos procedimientos más utilizados para la fabricación de áridos ligeros son: la sinterización y el horno rotativo. En el proceso de sinterización la materia prima es mezclada con una cantidad adecuada de combustible, que suele ser carbón o coque finamente molidos. Posteriormente, la mezcla es sometida a altas temperatura, utilizando una rejilla móvil, llevando a su expansión y a la formación de gases [21].

Según los estudios de Moravia [22] el proceso de producción en hornos rotarios (nodulación) se caracteriza por la expansión de ciertos materiales cuando sometidos a temperaturas elevadas (entre 1000 y 1350°C), como algunas arcillas. En este intervalo de temperaturas, parte del material se funde generando una masa viscosa, mientras otra parte del material se descompone químicamente liberando gases, expandiendo la masa y consiguiendo un volumen hasta siete veces el inicial, esto conlleva, una vez enfriado, a la formación de una estructura porosa. Dicho proceso favorece la formación de una capa vitrificada exterior con baja porosidad, disminuyendo significativamente la absorción de agua.

##### 2.4.2.1. PROCESOS DE FABRICACIÓN DE LOS ÁRIDOS LIGEROS ARTIFICIALES

Las distintas técnicas de producción se basan en la aglomeración o en la expansión de los materiales. La aglomeración ocurre cuando los materiales funden a temperaturas superiores a los 1100°C y las partículas se adhieren entre sí [19]. La expansión ocurre cuando el vapor generado, como es el caso de las escorias fundidas u otro material adecuado, calentado próximo a su temperatura de fusión. En este momento, la piroplasticidad ocurre simultáneamente a la formación de gases, que conllevan a la expansión del árido [19]. Los gases que se producen el inflado de los áridos, según Owens [23], pueden ser producidos por:

- I. Volatilización de los sulfuros a partir de los 400°C.
- II. Descomposición del agua de cristalización de los materiales arcillosos a los 600°C.
- III. Combustión de los compuestos basados en carbono a los 700°C.
- IV. Descarbonización de los carbonatos a los 850°C.
- V. Reacción del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  causando la liberación de oxígeno a los 1100°C.

Aplicando la aglomeración o la expansión de los materiales, se pueden utilizar distintos procesos para la producción de áridos ligeros artificiales. Los más importantes están brevemente descritos a continuación:

**Proceso del Horno Rotatorio (*Rotatory Kiln*):** El método, originalmente inventado por Hayde, se utiliza principalmente con arcillas, pizarras y esquistos (materiales ampliamente utilizados como



áridos ligeros). Todos disponen de composición química similar. Deben ser de un tipo plástico para que puedan alcanzar la expansión, que ocurre normalmente entre los 1150 y 1200 °C. Las pizarras poseen temperatura de expansión superior (1300-1400°C) debido al mayor contenido de carbono. Los áridos ligeros producidos con pizarras poseen una densidad aparente alrededor de 800 kg/m<sup>3</sup>, mientras las arcillas y esquistos expandidos, que son más flexibles, pueden alcanzar densidades mínimas de alrededor de 300 kg/m<sup>3</sup> [19].

**Proceso del Horno Rotatorio en vía seca (*Rotary Kiln - Dry System*):** Usualmente utilizado para arcillas blandas, la materia prima es descompuesta en un polvo muy fino a través de proceso de machaqueo y trituración. El material debe estar seco antes de la trituración con el objetivo de optimizar el proceso. Luego, el polvo seco es mezclado con agua en una bandeja rotatoria inclinada, donde se forman pequeñas esferas. La velocidad y la inclinación de la bandeja determinan el tamaño de las esferas. Este procedimiento de pre moldeo produce áridos ligeros perfectamente redondeados. A continuación las esferas son espolvoreadas con carbonato cálcico e introducidas en el horno rotatorio (kiln) [19].

Una vez introducidas en el horno rotatorio pasan por tres fases. La primera, el precalentamiento, alcanza temperaturas entre 900 y 1000°C. En la siguiente fase, en el horno de expansión, se alcanza una temperatura de 1150°C, produciéndose la expansión de la arcilla. La tercera y última fase es el enfriado del material [19].

**Proceso del Horno Rotatorio en vía húmeda (*Rotary Kiln - Wet System*):** Usualmente utilizado para pizarras y esquistos duros [20]. En este proceso, la arcilla o pizarra es mezclada para la obtención de un limo que posteriormente será extrudido y transformado en pellets. Los pellets son introducidos en el horno donde se trituran mediante cuchillas. La forma de árido ligero se obtiene con el movimiento rotario del horno, y la expansión ocurre de la misma manera que el sistema por vía seca, pero en este caso, el horno posee una única fase. El control del tamaño del material es más complicado, lo que conlleva la necesidad de someterlo a un proceso de machaqueo para producir partículas más finas [19].

**Proceso del horno vertical:** En este proceso, el horno vertical es alimentado con material seco. El fuego, producido en la base del horno, empuja el material en dirección ascendente, hasta que este obtenga una densidad lo suficientemente baja para que no vuelva a caerse. El procedimiento tarda aproximadamente 40 segundos [24].

**Proceso de sinterización:** En la cadena de sinterizado, la materia prima es mezclada con combustible. Los gránulos deben ser moldeados antes [24]. La mezcla se conduce a través de una cinta y sometida a una temperatura de aproximadamente 1100°C. La quema del combustible y la pérdida de agua favorecen la formación de una estructura celular formada por la fusión de las



partículas finas [19]. Este proceso es usualmente utilizado con cenizas volantes, pero puede ser utilizado para otras materias primas.

El árido obtenido por procesos de sinterización presenta poros abiertos, sin recubrimiento, gran capacidad de absorción de agua, aristas “vivas”, siendo el producto final un clinker irregular. La densidad de estos áridos suele estar entre los 650 y los 900 kg/m<sup>3</sup> [4, 19, 25].

#### 2.4.1. ÁRIDOS LIGEROS MÁS UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN

**Perlita:** La perlita es producto del calentamiento de vidrios volcánicos a temperaturas entre 900 y 1.100°C. Se trata de rocas vítreas ricas en sílice, de color claro y con una elevada dureza (5,5 a 7 en la escala de Mohs). Es un material ultraligero cuyo uso principal es para aislamiento, debido a su baja conductividad y a su ligereza (30 a 180kg/m<sup>3</sup>). No obstante, su resistencia a compresión es muy baja (inferior a 0,5MPa) [17].

**Vermiculita:** La vermiculita exfoliada es un árido muy ligero (50 a 125kg/m<sup>3</sup>), de color entre amarillo claro y marrón oscuro, que se obtiene mediante cocción de ciertos filosilicatos a temperaturas entre 900 y 1.100°C. Se presenta en forma de apilamiento de láminas inelásticas, y es de dureza similar a la mica (1,5 a 2,5 en la escala de Mohs) [17].

**Puzolanas:** Es una roca natural formada por escorias volcánicas, de textura escoriácea y alveolar. Debido a la existencia de escorias soldadas es preciso hacer un machaqueo y calibrado previos a su uso comercial. Tiene una composición muy variable, con altos contenidos en sulfuros resultantes de la percolación de fumarolas. Su resistencia es muy variable, por la poca homogeneidad del material, por lo que no es adecuada para usos estructurales [17].

**Esquistos y Pizarras:** De composición muy parecida a la arcilla expandida, tienen un proceso de fabricación muy semejante en hornos rotatorios. Los esquistos tienen un contenido en carbono entre el 4 y el 10%, y con una temperatura de expansión más alta (1.350 a 1.400°C). Por lo demás no existen grandes diferencias. Su aplicación, debido a una densidad más elevada, se da prioritariamente en hormigones estructurales y prefabricados. Por lo general no se usa con fines aislantes [17].

**Escoria y ceniza sinterizada:** La escoria es un subproducto de la fabricación del hierro y las cenizas que se producen principalmente en las plantas térmicas. El proceso de sinterización consiste en la fusión de la escoria o la ceniza machacada entre sí formando pellets ligeros (partículas de forma más o menos cilíndrica). Su densidad es muy alta por lo que su uso fundamental es para la realización de hormigones estructurales [17].

**Arcilla Expandida:** La arcilla expandida es el árido ligero más versátil que se conoce. Tiene un rango de aplicación que cubre desde los hormigones aislantes (550kg/m<sup>3</sup>) hasta los hormigones de alta resistencia con densidades inferiores a 2.000kg/m<sup>3</sup>. Observada en el microscopio, la arcilla



expandida presenta una estructura porosa cerrada formada por los gases producidos por la materia orgánica incinerada durante el proceso de fabricación. En esta estructura de poros no comunicados está el origen de todas las altas prestaciones de la arcilla expandida [17].

**Vidrio Celular:** El vidrio celular, llamado también vidrio expandido, es un material de construcción de aparición relativamente reciente creado a partir de polvo de vidrio cocido. Se utiliza fundamentalmente como aislante térmico o como protección contra el fuego y, también, para falsos techos en lugares muy húmedos o con necesidad de mantener buenas condiciones de asepsia, además de como agregado en la confección de hormigones ligeros.

Debido a que las burbujas o células que encierra el material no están comunicadas entre sí, es impermeable al agua y al vapor de agua, y es muy buen aislante térmico, además de ser incombustible. Otra característica importante es que se trata de un material de muy baja conductividad térmica (en torno a  $0,048 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) [17].

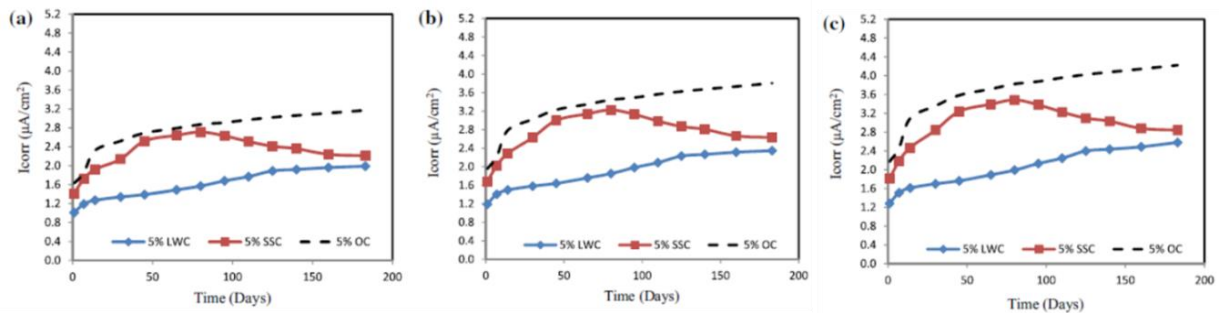
El árido ligero comúnmente utilizado, y material de estudio en esta investigación, es la arcilla expandida. Los áridos de arcilla expandida son producidos en hornos rotativos, suelen presentar forma aproximadamente esférica y una fina capa exterior con baja porosidad, característica esta que permite la obtención de hormigones con mejor trabajabilidad con bajas relaciones agua/cemento. Sin embargo, en función del formato esférico, estos áridos presentan una mayor facilidad en segregación si comparados a áridos producidos por sinterización, por ejemplo [26] .

## 2.5. CORROSIÓN DE ARMADURAS EN HORMIGONES LIGEROS

Existen ejemplos de hormigones ligeros de altas prestaciones para aplicaciones estructurales, considerando en su dosificación la combinación de los áridos ligeros con humo de sílice y/u cenizas volantes [27]. Debido a su facilidad de aplicación, los hormigones ligeros estructurales se han vuelto populares en estructuras “off-shore”[28, 29], donde son más susceptibles a la corrosión por el ambiente marino rico en cloruros. Además, estudios de Kayali y Zhu [30] y Wasim y Hussain [31], demuestran que el hormigón ligero es más resistente a estos tipos de ataques si comparado a los hormigones convencionales. La posible explicación para este comportamiento sería que la continuidad de los poros de la densa matriz de mortero acaba siendo interrumpida por los áridos ligeros, disminuyendo la facilidad en el transporte de cloruros.

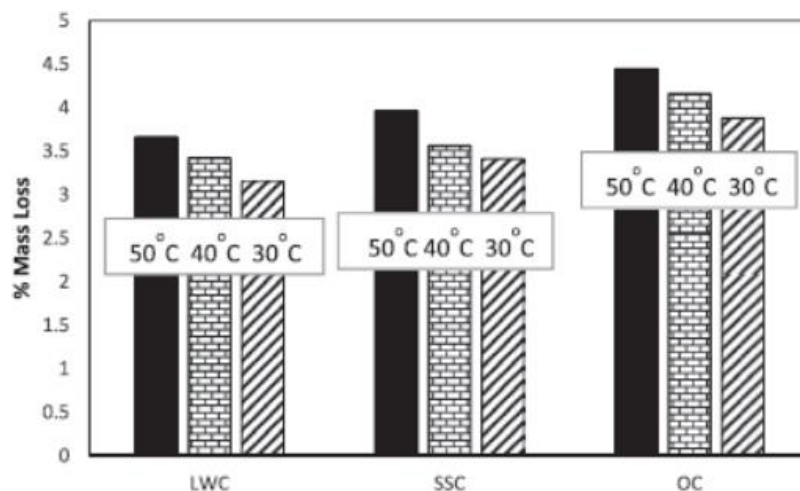
La velocidad de corrosión ( $I_{\text{corr}}$ ) es considerada como una de las maneras más fiables de medir la corrosión del acero y es utilizada por investigadores a nivel mundial. Wasim [31] observó cómo se comportaba la  $I_{\text{corr}}$  en distintos tipos de hormigón contaminados con cloruros (5% NaCl) y tres temperaturas diferentes (30°, 40° y 50 °C). Para las tres temperaturas, las barras de acero embebidas en hormigón ligero presentaban menores valores de velocidad de corrosión, comparadas con las barras embebidas en hormigón autocompactante y otro convencional (Figura 4). Además, las

muestras embebidas en hormigón ligero alcanzaban la estabilidad en su valor de  $I_{corr}$  en tiempos menores que el resto de hormigones, indicando una posible formación de una capa pasivante en edades tempranas.



**Figura 4 - Evolución de la velocidad de corrosión en función del tiempo, para barras de acero inmersas en probetas de hormigón con 5% de cloruros, en ambientes a 30°, 40° y 50 °C respectivamente. LWC (hormigón ligero), SSC (hormigón autocompactante) y OC (hormigón convencional).**

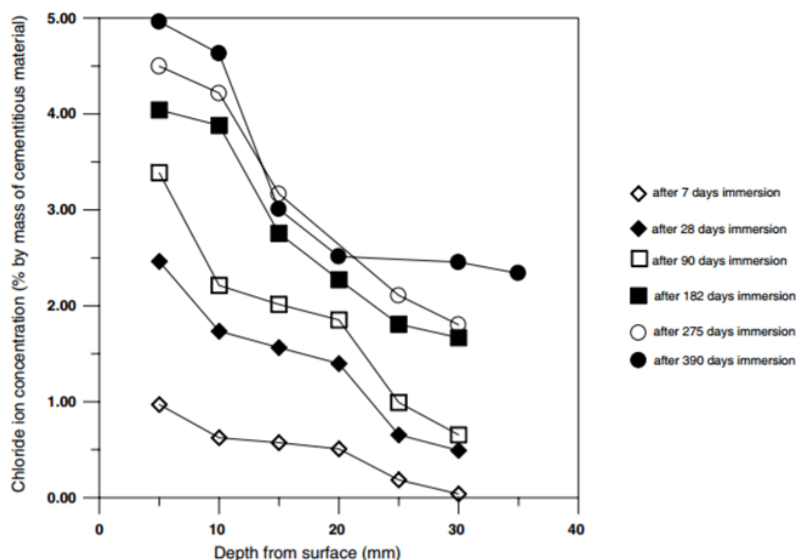
Por otra parte, Wasin [31] también utilizó como medida de corrosión, la pérdida de masa de las barras a lo largo de los seis meses. Los valores obtenidos también indican que el hormigón ligero propicia un ambiente más protegido al ataque de cloruros comparado con los demás hormigones dado que las pérdidas de masa en este tipo de hormigón fueron inferiores para todas las temperaturas (Figura 5).



**Figura 5 - % de pérdida de masa de las muestras en hormigones contaminados con 5% de cloruros, en ambientes a 30°, 40° y 50 °C. LWC (hormigón ligero), SSC (hormigón autocompactante) y OC (hormigón convencional).**

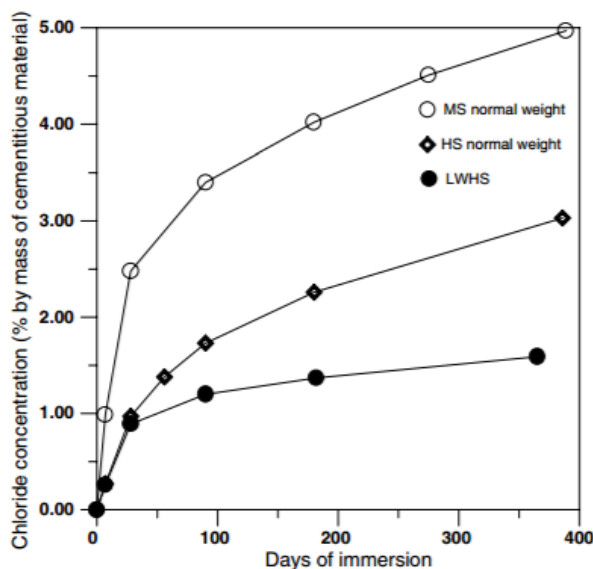
La prevención de la corrosión de las armaduras no está limitada al diseño de la estructura de hormigón armado o a las decisiones durante la definición de las proporciones en la dosificación. Es algo que debe seguir desarrollándose durante la dosificación, colocación, compactación y curado del hormigón. Todas las precauciones deben ser adoptadas durante las fases de transporte y puesta en obra, para que el hormigón no sufra segregación o demasiada exudación [32-34].





**Figura 6 - Resultados de Kavali [30]: la profundidad de penetración y concentración de cloruros en hormigones ligeros para distintos tiempos de exposición.**

Kayali [30] ha concluido en su estudio que la matriz con alta resistencia encontrada en la proximidad de armaduras embebidas en hormigón ligero, presentaban concentraciones muy pequeñas de cloruros después de un largo periodo de exposición en ambientes agresivos (Figura 6 y Figura 7). La posible explicación para el fenómeno se debe a la alta absorción de los áridos ligeros y a la densa matriz de mortero que propician la creación de un sistema de poros desconectados.



**Figura 7 - Concentración de cloruros en función del tiempo de exposición para hormigones ligeros (LWHS) y convencionales con media (MS) y alta resistencia (HS), según los estudios de Kayali [30].**

## 2.6. DURABILIDAD DE HORMIGONES LIGEROS

Durante el mezclado de este tipo de hormigones, debido a la baja densidad de los áridos que se utilizan y los tiempos más largos de mezclado [35] son susceptibles a presentar segregación de los





áridos debido a las diferencias entre las densidades de sus componentes. De hecho, durante el vibrado del hormigón, los áridos ligeros tienden a flotar.

Rossignolo [4] afirma que, la idea de que áridos con mayor porosidad aumenten la permeabilidad del hormigón, y por lo tanto disminuya la resistencia a penetración de agentes agresivos es algo común y recurrente. Pero, los resultados de diferentes investigaciones, indican que el uso de áridos ligeros no es un factor que necesariamente reduce la durabilidad de los hormigones [11] [36, 37] [13, 19, 38].

Según Rossignolo [4], para la evaluación de la durabilidad del hormigón, es necesario dedicar atención a su estructura porosa, es decir, verificar si la porosidad es constituida de poros conectados entre sí o no, y por lo tanto diferenciar entre sistemas abiertos o cerrados cuando se pretende evaluar la relación entre porosidad y permeabilidad.

Otros estudios comparativos han demostrado que los hormigones con áridos ligeros presentan valores de permeabilidad iguales o superiores a los observados en hormigones convencionales, para los mismos niveles de resistencia a compresión [13, 38].

Rossignolo [4] menciona tres factores que explican este fenómeno:

- I. Reducción de la relación agua/cemento en los hormigones ligeros si comparados a los convencionales.
- II. Disminución de las fisuras internas del hormigón, ya que la diferencia entre los módulos de deformación entre los materiales es menor, si comparada a las diferencias en hormigones convencionales.
- III. Mejoras en la calidad en la zona de transición “pasta-árido”.

La fase de curado del hormigón puede influir directamente en la durabilidad de un hormigón. En el estado de arte presentado en el EuroLightCon [19], se indica que el calor liberado durante la hidratación del cemento en hormigones ligeros es superior al calor de hidratación liberado en la hidratación de hormigones convencionales, en función de la baja conductividad térmica de los áridos ligeros. Para evitar la formación de fisuras térmicas, principalmente en ambientes con bajas temperaturas, un procedimiento recomendado es mantener el sistema de encofrado por más tiempo o el recubrimiento de la superficie del hormigón con láminas térmicas.

Según Al-Khaiat e Haque [39], el árido acaba beneficiando la hidratación del cemento, ya que durante la fase de mezclado de los materiales, el árido ligero absorbe una parte del agua de amasado que, posteriormente, será transferida para la pasta de cemento a lo largo del proceso de hidratación, garantizando la presencia de agua para que ocurran las reacciones químicas con poca influencia de las condiciones ambientales externas. A este fenómeno se denomina “curado interno”.



## 2.7. PRODUCCIÓN, TRANSPORTE, PUESTA EN OBRA Y COMPACTACIÓN DE HORMIGONES LIGEROS

Rossignolo [11], observó que, durante el inicio del mezclado del hormigón ligero en hormigoneras de eje inclinado, la segregación de los áridos ligeros ya que éstos tendían a salir de la hormigonera, sin embargo en hormigoneras de eje vertical, preferibles según el CEB/FIP [26], el problema no ocurre.

Durante el transporte de los hormigones ligeros, es necesario considerar su tendencia a la segregación en función de las bajas densidades de los áridos. Este fenómeno puede ser reducido o evitado, buscando adoptar valores de consistencia y cohesión adecuados, controlándose la relación agua-cemento, la proporción de áridos finos y con la utilización de adiciones naturales, como el humo de sílice [11].

El transporte en camión hormigonera permite, mediante un amasado previo al vertido, corregir la tendencia a la disminución de la docilidad que se produce, durante el mismo, así como la tendencia a la segregación del árido ligero durante el transporte de los hormigones de mayor docilidad [5].

El rango de valores para la consistencia de hormigones ligeros normalmente es menor que el rango de valores para hormigones convencionales. Los hormigones ligeros con altos índices de consistencia presentan grandes posibilidades de segregación de sus áridos, y contrariamente, hormigones con bajos valores de consistencia presentan dificultades en la fase de compactación [11].

En la determinación de la consistencia del hormigón ligero, deben ser considerados los bajos valores de densidad de los áridos, que en el caso del ensayo de consistencia con el cono de Abrams, hará con que los hormigones ligeros presenten valores menores que los obtenidos en hormigones convencionales producidos en las mismas condiciones de dosificación [11].

Según Mehta y Monteiro [40] el vibrado excesivo, las altas consistencias y las bajas cohesiones son, los responsables de la segregación y de la exudación en los hormigones ligeros, perjudicando la manipulación del material e incluso, posiblemente, afectando a las prestaciones de algunas propiedades del hormigón en estado endurecido.

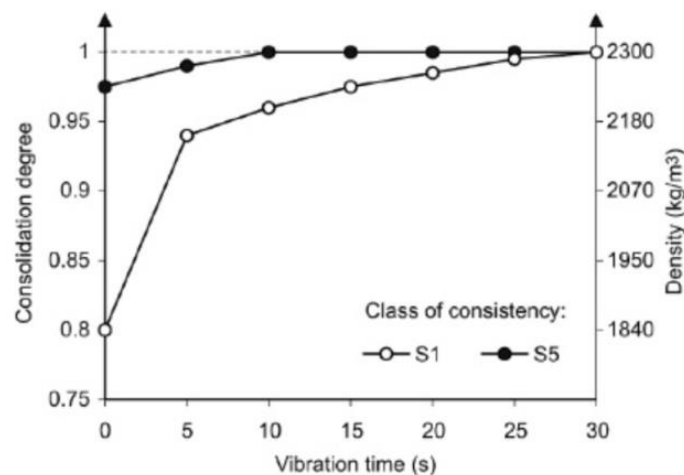
Según Bertolini et al [32], para evitar el fenómeno de segregación, el hormigón no debe verterse de una altura excesiva o golpearse con los sistemas de encofrado, además debe ser colocado en capas uniformes. Cada capa debe ser vibrada por completo antes de la colocación de la siguiente, con el objetivo de reducir la cantidad de aire atrapado. El esfuerzo necesario para la compactación del hormigón aumenta si la consistencia del hormigón disminuye [41].

Usualmente, son adoptadas las técnicas convencionales de compactación, sin embargo estos hormigones suelen necesitar una mayor energía de vibrado comparada con la energía aplicada en los hormigones convencionales [5, 26, 38]. En consecuencia, en el caso específico de los vibradores tipo

aguja, se recomienda que la compactación se realice reduciendo la separación entre las posiciones consecutivas de los vibradores a una distancia entre 50% [26, 38] y 70% [5] de la utilizada para un hormigón estructural normal. La tendencia a la flotación del árido ligero crece con el incremento de la energía de vibrado y por lo tanto los hormigones deben presentar una cohesión adecuada para evitar el fenómeno de la segregación [26, 38, 41].

El acabado superficial de la cara por la que se coloca el hormigón debe realizarse mediante un utillaje adecuado para presionar el árido ligero e introducirlo en la masa, de modo que quede recubierto por la lechada [5].

En sus estudios, Bertolini et al [32] menciona una manera de cuantificar la compactación de un hormigón calculando la razón entre la densidad del hormigón de una muestra analizada y la densidad del hormigón de la muestra con mayor tiempo de vibrado de la serie.



**Figura 8 - Influencia del tiempo de vibración en el grado de compactación de hormigones con distintas consistencias [32].**

## 2.8. EL FENÓMENO DE SEGREGACIÓN

Segregación es la tendencia del árido grueso separarse de la matriz de mortero, provocando uno de los mayores problemas de los hormigones en estado fresco. Las consecuencias de la segregación son numerosas y pueden afectar tanto las características mecánicas como de durabilidad de las estructuras [42].

### 2.8.1. LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN APLICADA AL HORMIGÓN Y LA SEGREGACIÓN

Tattersall y Baker [43] comprobaron que cuando la vibración es aplicada al hormigón, ocurre una reducción significativa del límite de elasticidad y una reducción en la viscosidad del hormigón. Sin embargo, de Larrard et al. [44] verificaron que la viscosidad plástica no es afectada por la vibración,



y coincide con investigaciones anteriores [45-47] que verificaron que la viscosidad del hormigón es más importante que el límite elástico para segregación del hormigón durante su vibrado.

### **2.8.2.INFLUENCIA DE LA SEGREGACIÓN EN LA DURABILIDAD DEL HORMIGÓN**

Según Panesar y Shindman [48], hormigones segregados son más susceptibles al riesgo de fisuración debido a la separación de los áridos del resto de la mezcla, lo que conlleva superficies ricas en pasta de cemento, zonas que comúnmente presentan mayores índices de contracción. Este efecto puede aumentar la vulnerabilidad de estructuras de hormigón armado al fenómeno de microfisuración, algo que está particularmente relacionado al comportamiento mecánico y a la durabilidad de la estructura durante su vida útil. La fisuración, debido a la segregación, puede reducir la resistencia al ingreso de humedad e iones, y, en el caso del hormigón estar expuesto a ciclos de hielo-deshielo, puede incluso propiciar el incremento de la permeabilidad y reducir las propiedades mecánicas, comprometiendo la integridad de la estructura.

### **2.8.3.INFLUENCIA DE LA SEGREGACIÓN EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE HORMIGONES LIGEROS**

Una distribución de áridos homogénea y de orientación aleatoria entre sí puede mejorar las propiedades mecánicas, de durabilidad, estabilidad e impermeabilidad de los hormigones [49].

En la publicación del Eurolightcon [19] se destaca la importancia de la homogeneidad entre los componentes que constituyen el hormigón ligero. Newman [50] afirma que un buen vínculo entre la matriz de mortero y los áridos ligeros, y una similitud entre los módulos de la matriz y de los áridos, garantizan la eficiencia de la matriz utilizada. La ruptura de los hormigones ligeros no ocurre por el desplazamiento entre las dos fases, pero sí como el resultado del colapso de la estructura en el entorno del grano de árido ligero, que posee un valor limitado de resistencia. La línea de fractura atraviesa el grano de árido, como en hormigones de alta resistencia, y opuesto a lo que ocurre en hormigones convencionales, donde la ruptura ocurre por la fractura de la matriz de mortero y la separación entre las dos fases, resultando en una línea alrededor de los áridos.

### **2.8.4.INFLUENCIA DE LA DISTRIBUCIÓN, FORMA Y DEL TAMAÑO DE LOS ÁRIDOS EN LA SEGREGACIÓN**

La distribución y el tamaño máximo de los áridos ligeros son determinados en su proceso de producción. Normalmente, el tamaño máximo de partícula es limitado por la resistencia mecánica requerida, ya que partículas grandes tienden a ser menos resistentes. La segregación tiende a



aumentar con el uso de partículas grandes debido a la diferencia de densidades entre los elementos del hormigón, ya que la relación superficie/volumen de las partículas disminuye con el aumento del tamaño de las partículas [19].

La relación entre el tamaño y forma de los áridos y la tendencia a la segregación fue estudiada en diferentes tipos de hormigón [45, 51-54], como hormigón convencional, hormigón ligero y hormigón autocompactante. Shen et al. [53] demostraron que la una reducción de 30% en el tamaño máximo del árido reduce considerablemente la segregación. Las menores tendencias a la segregación son observadas en las dosificaciones con áridos cuyos tamaños máximos son menores. La explicación se atribuye al aumento de las fuerzas de arrastro propiciadas por la matriz de mortero a los áridos pequeños, que poseen mayor superficie específica (relación entre el área de la superficie y el volumen). Esmailkhanian et al. [54] compararon la segregación dinámica en hormigones utilizando áridos de machaqueo y áridos rolados con distribuciones granulométricas similares y no encontró diferencias significativas en la tendencia a la segregación de los dos hormigones. El resultado se explicó debido al facto de la relación superficie-volumen de los áridos no ser considerablemente diferente entre los dos tipos de áridos estudiados.

Las investigaciones recientes de Navarrete y Lopez [52] concluyen que la relación superficie-volumen de los áridos explican el fenómeno de segregación con más precisión que el tamaño máximo de los áridos, indicando que la forma de los áridos posé un papel importante en la segregación. Es decir, la segregación puede ser reducida tanto con la reducción del tamaño máximo de los áridos como con el aumento de irregularidad en la forma de los mismos.

Según Navarrete y Lopez [52], cuanto mayor la diferencia entre las densidades de los áridos y de la matriz de mortero, más significativa será la relación superficie-volumen en la explicación del fenómeno de segregación. Esta información es relevante cuando se tratan de hormigones ligeros, una vez que la diferencia entre las densidades de sus materiales es considerable. Además, Navarrete y Lopez [52] afirman que la tendencia a la segregación de un hormigón está más relacionada al efecto combinado de la relación superficie-volumen de sus áridos y de la diferencia de densidades entre áridos y morteros, que al efecto de cada parámetro individualmente.

## **2.9. EL ESTUDIO Y LA CUANTIFICACIÓN DEL FENÓMENO DE SEGREGACIÓN**

Como la resistencia mecánica del mortero es considerablemente más elevada que la resistencia de los áridos ligeros, una distribución no uniforme de los áridos en la mezcla del hormigón puede afectar fuertemente en las características globales, que comúnmente, son consideradas como valores homogéneos para fines de diseño. Todos los aspectos presentados anteriormente justifican que se evalúe experimentalmente la segregación en hormigones utilizando habitualmente índices para su cuantificación [7].



Además, esto puede ser de gran importancia ya que, como se ha comentado anteriormente, la resistencia del hormigón se ve muy influenciada por las fracciones volumétricas de árido ligero [55] y la resistencia del mortero es considerablemente superior que la de los áridos que componen el hormigón, sobre todo en el hormigón ligero [56-58], y si este árido no se encuentra distribuido de forma homogénea no se obtendrán las propiedades mecánicas según el hormigón diseñado.

A continuación, están descritos algunos métodos para cuantificar el fenómeno de la segregación propuestos por otros autores.

### 2.9.1.MÉTODO DE BUI ET AL

Bui et al. [59] proponen un procedimiento que consiste en cortar el espécimen en dos mitades. Una mitad es seccionada de nuevo en seis partes iguales en dirección horizontal. Este procedimiento se realiza con el hormigón fresco, por lo que de cada una de las partes se separa el árido grueso, se seca y pesa. De esa forma se obtiene un índice comparando la cantidad de áridos de cada región con la cantidad de áridos total.

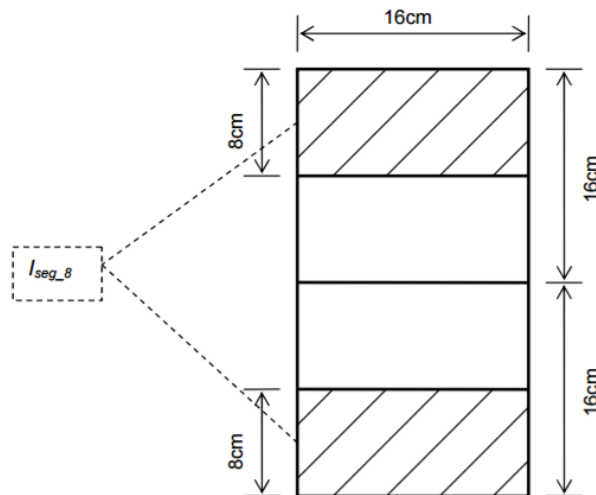
### 2.9.2.MÉTODO DE KE

Ke propone un método para determinar el índice de segregación ( $IS_{KE}$ ) [60, 61], mediante las densidades obtenidas de las rebanadas superior ( $\rho_{top}$ ) e inferior ( $\rho_{bottom}$ ) de un cilindro (Figura 9). Una posible segregación tenderá a reducir la densidad en la sección superior porque los áridos ligeros tienden a flotar en la matriz de mortero.

El índice se calcula según la Eq. 1.

$$IS_{KE} = \frac{\rho_{top}}{\rho_{bottom}} \quad (1)$$

Si  $I_s=1$ , se puede considerar que la muestra presenta perfecta uniformidad. Un índice de segregación inferior a 0,95 indica un comienzo de segregación importante [61]. Sin embargo, datos experimentales indican que este índice de segregación no siempre refleja las condiciones reales de la probeta. Otro aspecto verificado es la dificultad en localizar concentraciones de áridos, lo que podría demandar el pesado y la comparación de muchas probetas [55].

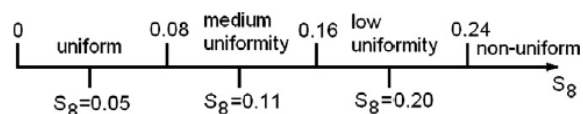


**Figura 9 - Rebanadas superior e inferior de un cilindro para la obtención del índice de segregación según Ke [61].**

### 2.9.1.MÉTODO DE BARBOSA ET AL

Una técnica que puede ser utilizada para tener un mayor conocimiento sobre la segregación de este tipo de hormigones es el análisis de imágenes. La técnica de análisis de imágenes es un método que ha sido utilizado para investigar diferentes aspectos del hormigón, como sus características microestructurales [62, 63] distribución del tamaño de las partículas [62, 64], forma y tamaño de los áridos, distribución de vacíos [64] etc. Esta técnica ofrece a los investigadores una herramienta rápida y eficiente de análisis.

Esta técnica se ha utilizado previamente para el estudio de la segregación en hormigones ligeros por Barbosa et al. [55]. En su estudio, Barbosa et al. proponen un método que permite evaluar la uniformidad en la distribución de los áridos de una probeta de hormigón ligero. El método consiste en analizar la uniformidad en la distribución de los áridos en subregiones de una probeta y, posteriormente, comparar estos valores con la uniformidad de los áridos de la probeta completa, permitiendo el cálculo de un coeficiente  $S$  que indica el grado de segregación de los áridos. El método ha sido aplicado tanto en probetas sintéticas, para definir una escala de clasificación, como en probetas reales. La escala propuesta por Barbosa et al. está representada en la Figura 10 - Escala propuesta por Barbosa et al para clasificar la uniformidad de los áridos según el índice  $S$  calculado en su método [55].



**Figura 10 - Escala propuesta por Barbosa et al para clasificar la uniformidad de los áridos según el índice  $S$  calculado en su método [55].**





### 2.9.2.MÉTODO DE LOPEZ - NAVARRETE-LOPEZ - ESMAEILKHANIAN

Utilizando un caso particular del método propuesto por Esmailkhanian et al. [54] y una técnica de estereología imparcial basada en conteo de puntos [65, 66], Navarrete-Lopez. sugieren un índice de segregación basado en la fracción volumétrica de áridos en distintas alturas de una probeta [67].

Cada probeta se secciona verticalmente y luego se divide en tres secciones de igual tamaño (superior, central e inferior). Para las secciones superior e inferior, el volumen de árido grueso se calcula utilizando la Eq. 2.

$$V_{ai} = \frac{P_{ai}}{P_{refi}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Donde  $P_{ai}$  es la suma de los puntos equivalentes a áridos gruesos de la sección  $i$ ;  $P_{refi}$  es la suma de puntos de toda la sección  $i$ ; y  $V_{ai}$  es la fracción volumétrica de la sección  $i$ .

Para evaluar la segregación, se calcula el índice volumétrico (VI) propuesto por Esmailkhanian et al. [54]:

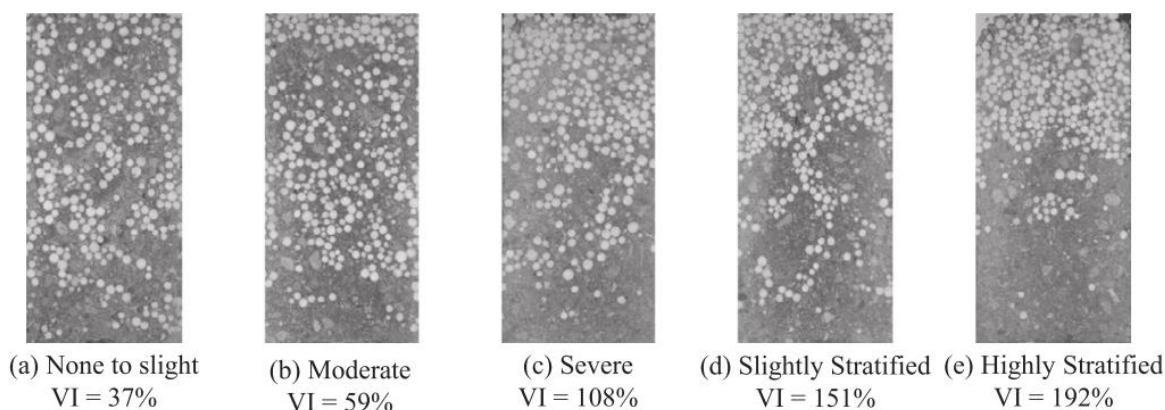
$$VI(\%) = 2 * \frac{|V_{at} - V_{ab}|}{V_{at} + V_{AB}} * 100\% \quad (3)$$

Donde  $V_{at}$  y  $V_{ab}$  son las fracciones volumétricas de árido grueso de la sección superior e inferior, respectivamente.

Grado de Segregación	Intervalo de VI (%)
Ninguno a ligero	0 - 40
Moderado	40 - 80
Severo	80 - 120
Levemente estratificado	120 - 160
Altamente estratificado	160 - 200

**Tabla 2. Grados de segregación según Navarrete-Lopez [67] .**

Los resultados de los estudios de Kwasny et al. [65] proponen que un hormigón ligero puede ser considerado como no segregado cuando los valores de VI son inferiores a 20%. Esmailkhanian et al. [68] estudiaron la segregación dinámica de hormigones autocompactantes y han propuesto el valor de  $VI=25\%$  como el límite para la segregación. Navarrete-Lopez proponen una escala con cinco grados de segregación para clasificar los resultados obtenidos (Tabla 2). La Figura 11 muestra probetas clasificadas utilizando su método, representando los cinco grados de clasificación.



**Figura 11 - Probetas con distintos grados de segregación según Navarrete-Lopez [67].**

En este trabajo el índice volumétrico (VI) propuesto por Esmailkhanian et al. [53] asociado a la escala de grados de segregación propuesta por Navarrete-Lopez (Tabla 2) será identificado como Índice de Segregación de Navarrete-Lopez ( $IS_{\text{Navarrete-Lopez}}$ ).

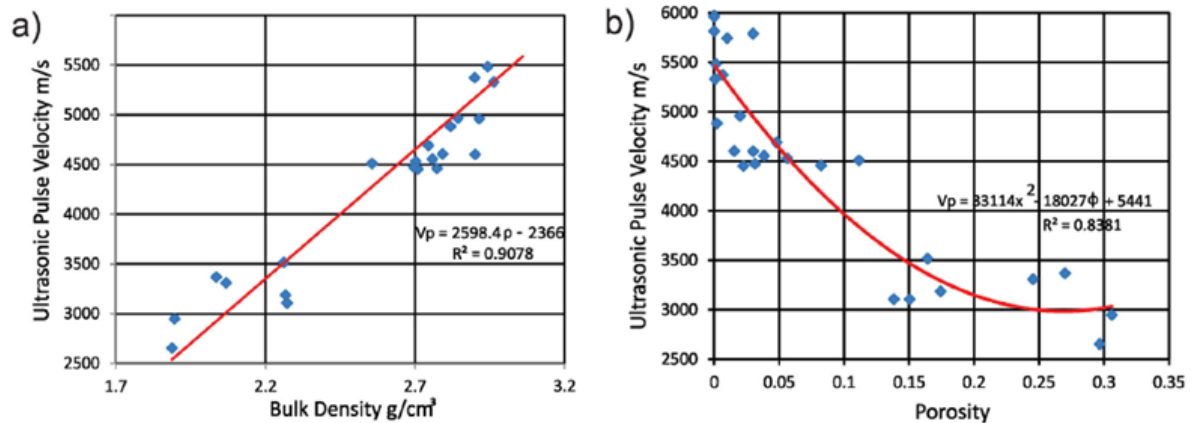
### 2.9.3.EL USO DE IMÁGENES 2D PARA REPRESENTAR FENÓMENOS EN 3D

Cuando la distribución y ubicación de los áridos es evaluada con base en una imagen 2D (sección transversal de la probeta), es importante entender su representación en el estado tridimensional (3D). De acuerdo con el Principio de Cavalieri, el porcentual de un área en la sección transversal de una probeta puede ser considerado como equivalente al porcentual de su volumen en una representación 3D [69]. En el estudio de hormigones, es más sencillo utilizar imágenes 2D que 3D, con la finalidad de representar información. Jianguo Han utilizó la técnica de análisis de imágenes 2D para estudiar las características y la distribución de los áridos en hormigones[49]. La investigación efectuada por Masad et al. demostró la utilidad de esta técnica para obtener el porcentaje de huecos en mezclas bituminosas mediante imágenes 2D de tomografías con rayos-X y contrastándola con los ensayos volumétricos utilizados habitualmente en este tipo de materiales [70]. Scrivener, en una de sus investigaciones, discutió sobre las limitaciones del uso de imágenes 2D y afirmó que estas imágenes se corresponden a una fracción de área total, directamente equivalente a la fracción de volumen [71].

### 2.10. ESTUDIO ULTRASÓNICO

A contrario de la mayoría de los métodos y ensayos convencionales, los métodos de ondas ultrasónicas no afectan de manera significativa la microestructura cuando son utilizados para evaluar las características del hormigón. Los métodos que utilizan la propagación de ondas y su interacción con el hormigón están entre los métodos no destructivos más interesantes para el estudio del hormigón [72, 73].

Además, diversos estudios encontraron correlaciones entre la densidad de diferentes materiales y la velocidad de propagación de ondas ultrasónicas en su interior. Chen et al [74] encontraron correlaciones empíricas entre las velocidades de ondas ultrasónicas tipo P y la densidad y la porosidad de basaltos. Sus resultados pueden ser observados en la Figura 12, y demuestran una relación lineal entre la velocidad de ondas P y la densidad seca de las muestras, con un coeficiente de correlación de  $R = 0.9078$ .



**Figura 12 - a) Velocidad de ondas P versus Densidad. b) Velocidad de ondas P versus Porosidad.**  
**Resultados de los estudios de Chen et al [74] en basaltos.**

En el estudio de plásticos, como es el caso de los polietilenos, algunos resultados también indican una correlación entre la velocidad del sonido y la densidad del material [75, 76].

Martin y Forde [77] utilizaron datos de ensayos no destructivos con ondas P para determinar algunas propiedades del hormigón. La velocidad de transmisión de las ondas depende de la densidad, del módulo elástico y del coeficiente de Poisson del hormigón.

Benaicha et al [78] evaluaron la segregación de hormigones autocompactantes adaptando una técnica basada en velocidades ultrasónicas. Para analizar la homogeneidad y la calidad de los hormigones fueron medidas las velocidades de paso de las ondas de ultrasonido en varios puntos de una columna de hormigón en estado semi-fresco. Según sus afirmaciones, los métodos de velocidad ultrasónica aplicados a los estudios de hormigones son complejos porque dependen de muchos fenómenos: porosidad, heterogeneidad de los distintos tipos de cemento, áridos, aditivos, etc, cuyas partículas poseen dimensiones que varían de los nanómetros a los centímetros. Mismo con la complejidad de la interpretación de los datos, Benaicha et al [78] afirman que los resultados obtenidos por ultrasonidos y los resultados obtenidos por métodos empíricos fueran similares, y concluyen que, en laboratorio, los métodos de ultrasonido pueden ser utilizados en lugar de los métodos empíricos para evaluar la estabilidad estática de hormigones autocompactantes.



### 3. MATERIALES

El estudio se realizó con hormigones ligeros con densidades teóricas de 1700 kg/m<sup>3</sup> y 1900 kg/m<sup>3</sup> dosificados con el método Fanjul [79], que permite el máximo control en el diseño de hormigones con una densidad prefijada. En total fueron fabricados ocho hormigones considerando diferentes tipos de árido ligero, diferentes modos de vibrado y diferentes densidades teóricas. La Tabla 3 contiene las características de fabricación de dichos hormigones y la Tabla 4 sus dosificaciones.

Hormigón	Probetas (ud)	Densidad Teórica (kg/m <sup>3</sup> )	Vibrado	Árido Ligero
HL1	20	1700	dos capas	Arlita Leca HS
HL2	20	1900	dos capas	Arlita Leca HS
HL3	20	1700	una capa	Arlita Leca M
HL4	20	1900	una capa	Arlita Leca M
HL5	6	1700	una capa	Arlita Leca M
HL6	6	1700	una capa	Laterlite LTM
HL 7	6	1700	una capa	Arlita Leca HS
HL 8	6	1700	una capa	Laterlite LTHS

**Tabla 3 - Características de los hormigones fabricados**

Hormigón	Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Agua (kg/m <sup>3</sup> )	Árido Fino (kg/m <sup>3</sup> )	Árido Ligero (kg/m <sup>3</sup> )
HL1	350	210	723.9	416.2
HL2	350	210	1046.0	294.0
HL3	350	210	991.1	148.9
HL4	350	210	1234.8	105.2
HL5	350	210	991.1	148.9
HL6	350	210	938.6	201.4
HL7	350	210	723.9	416.2
HL8	350	210	662.0	473.0

**Tabla 4 - Cantidades de materiales necesarias para la producción de un m<sup>3</sup> de hormigón**

Para todos los hormigones se utilizó cemento del tipo CEM I 52.5 R con una densidad de 3176 kg/m<sup>3</sup>. Se utilizaron cuatro tipos de áridos ligeros de arcilla expandida como árido grueso, sus propiedades físicas están descritas en la Tabla 5 y sus distribuciones granulométricas están descritas en la Tabla 6. La densidad aparente de los áridos ligeros se obtuvo según el procedimiento descrito en la norma UNE EN 1097-3 [80]. Además, la densidad de las partículas en estado seco se determinó mediante la metodología propuesta por Fernández-Fanjul, A. et. al. [81] y la absorción de agua a las 24 horas según la norma UNE EN 1097-6 [82] (partículas presecadas y en agua destilada). La densidad absoluta de los áridos se determinó con picnometría de Helio y las fracciones granulométricas de los áridos según la norma UNE EN 933-1 [83].

Propiedad	Método	Arlita Leca M	Laterlite LTM	Arlita Leca HS	Laterlite LTHS	Arena caliza
Densidad seca (kg/ m <sup>3</sup> )	UNE EN 1097-6 [82]	482	613	1019	1118	2688
Densidad aparente (kg/ m <sup>3</sup> )	UNE EN 1097-3 [80]	269	276	610	676	1610
Absorción 24 horas (%)	Según [81]	36.6	29.55	12.2	11.05	0.12
Fracción granulométrica (d/D <sub>i</sub> )	UNE EN 933-1 [83]	16/6	12/4	12/4	12/4	0/4



**Tabla 5 - Características físicas de los materiales utilizados**

Antes del mezclado, y con el fin de evitar la pérdida de agua de amasado por absorción, se presaturaron los áridos ligeros. En el momento del amasado se determinó el contenido de agua del árido ligero y el contenido de agua superficial, con el fin de hacer las correcciones oportunas y mantener una relación a/c efectiva constante de 0.6.

Tamiz (mm)	% que Pasa				
	Arlita Leca M	Laterlite LTM	Arlita Leca HS	Laterlite LTHS	Arena caliza
16	99.91	100.00	100.00	100.00	100.00
12	95.00	99.96	98.36	95.05	100.00
8	5.87	76.50	68.71	65.33	100.00
6	3.21	45.11	41.43	37.81	100.00
4	2.97	4.46	5.12	13.56	99.86
2	2.93	1.04	0.91	2.22	72.27
1	2.91	1.04	0.76	0.58	47.18
0.500	2.88	1.04	0.75	0.47	32.32
0.250	2.80	1.04	0.74	0.43	23.15
0.125	2.52	1.03	0.70	0.40	17.24
0.063	1.99	0.98	0.65	0.38	14.00

**Tabla 6. Distribución granulométrica de los áridos utilizados**

Con el fin de conocer las propiedades físicas del mortero que forma parte del hormigón ligero, y conociendo su dosificación, para cada hormigón se fabricaron probetas prismáticas de mortero de 40x40x160 mm (según la norma UNE EN 196-1) para caracterizar su densidad, porosidad y absorción. El curado de las probetas fue en agua a una temperatura de  $20\pm1^{\circ}\text{C}$ , sus valores se determinaron a los 7, 28 y 90 días de edad (véase la Tabla 7).

Hormigón	Edad (días)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción (%)	Porosidad (%)
HL1	7	2014	12,52	25,26
	28	2022	12,16	24,63
	90	2019	12,31	24,90
HL2	7	2099	10,21	21,46
	28	2104	10,01	21,11
	90	2102	10,12	21,30
HL3	7	2039	11,25	22,98
	28	2061	10,78	22,25
	90	2059	10,92	22,52
HL4	7	2099	10,21	21,46
	28	2104	10,01	21,11
	90	2102	10,12	21,30
HL5	7	2039	11,25	22,98
	28	2061	10,78	22,25
	90	2059	10,92	22,52



HL6	7	2022	11,81	23,93
	28	2050	11,03	22,65
	90	2045	11,32	23,19
HL7	7	1953	13,81	27,01
	28	1979	12,93	25,63
	90	1959	13,71	26,91
HL8	7	1949	14,07	27,46
	28	1955	13,57	26,57
	90	1945	14,21	27,68

**Tabla 7 - Caracterización de las matrices de mortero por tipo de hormigón**

#### 4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para la consecución de los objetivos planteados anteriormente se adoptó la metodología representada en el diagrama de la Figura 13 - Metodología experimental. La metodología ha sido dividida en cuatro etapas:

- 1) Preparo de las probetas, color rojo en el diagrama.
- 2) Etapa experimental, color azul en el diagrama.
- 3) Etapa por análisis de imágenes, color amarillo en el diagrama.
- 4) Validación del método por análisis de imágenes, color verde en el diagrama

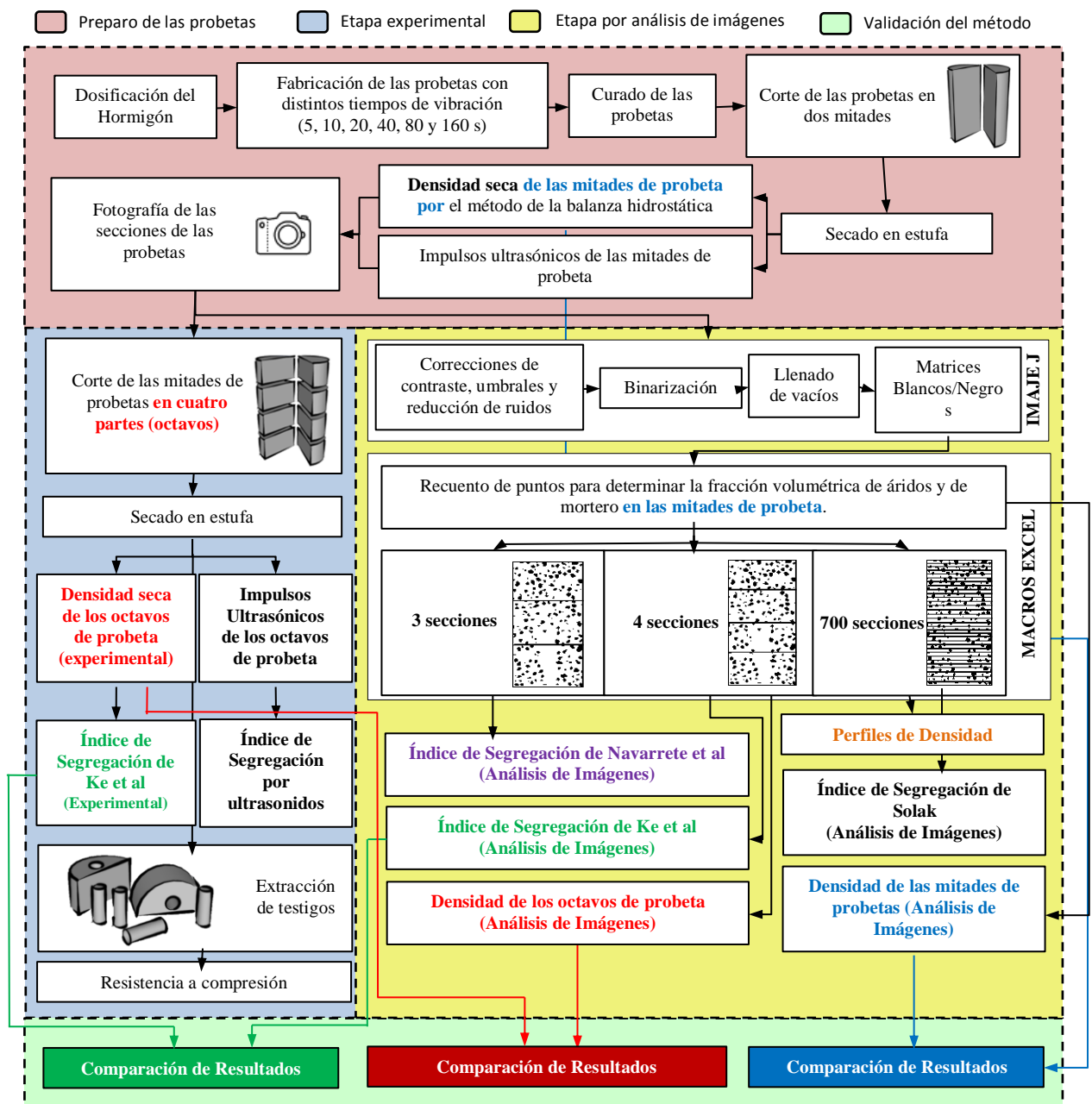


Figura 13 - Metodología experimental



#### 4.1. FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN E PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

El hormigón se fabricó considerando las siguientes variables a la hora de confeccionar las probetas (cilíndricas de 150 mm de  $\phi$  y 300 mm de altura). Las probetas se compactaron mediante vibrador eléctrico de aguja de 18000 rpm/min y un diámetro de aguja  $\phi 25$  mm. Las probetas se vibraron con 6 tiempos diferentes (5-10-20-40-80-160 segundos) en una o dos capas (véase Tabla 3).

Para evaluar la influencia de la consistencia del hormigón en la segregación, las series del HL1 y HL2 se fabricaron cuatro veces, considerando tiempos diferentes entre el amasado y el vibrado de las probetas (15, 30, 60 y 90 min). Este tiempo transcurrido entre el amasado y la vibración, se nombró “tiempo de fabricación”. Con el objetivo de elaborar una curva “tiempo x consistencia”, durante la fabricación del hormigón “HL1” (Densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , árido Arlita Leca HS, vibrado en dos capas), se realizaron diferentes medidas de consistencia del hormigón en estado fresco se realizó con el Método del cono de Abrams (UNE EN 12350-2) en diferentes tiempos de fabricación (10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 180 y 240 minutos).

Una vez fabricadas las probetas cilíndricas de hormigón teniendo en cuenta todo lo mencionado anteriormente las probetas se curaron bajo agua a una temperatura de  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ . Una vez transcurridos 28 días, las probetas se seccionaron verticalmente (Figura 14 izquierda) en dos mitades mediante una sierra de corte, aplicando ultrasonidos a ambas mitades para obtener los valores de la velocidad S y velocidad P (VPU). A continuación, las probetas se fotografiaron (Figura 14 derecha) para el posterior análisis de imágenes.

Las fotografías han sido realizadas en ambiente con luz natural utilizando una cámara modelo Canon EOS 500D, con resolución de  $4752 \times 3168$  píxeles, sin flash, con velocidad ISO-100, tiempo de exposición de  $1/3\text{s}$  y apertura de  $f/5.6$ . Las dos mitades de cada cilindro eran fotografiadas al mismo tiempo.



**Figura 14 - Izquierda: corte vertical de los cilindros en dos mitades. Derecha: fotografía de las mitades de probeta.**

## 4.2. ETAPA EXPERIMENTAL

Las mitades de probeta se cortaron, en cuatro partes, originando octavos de probeta, se secaron en estufa y se obtuvieron de nuevo los valores de densidad seca y de VPU de cada una de las secciones. Utilizando los valores de densidad de los octavos superiores e inferiores, se calculó el índice de segregación según la metodología indicada por Ke [64].

Considerando la existencia de una relación entre las VPUs y las densidades del material, utilizando las VPUs de las rebanadas superiores e inferiores se estimó un segundo índice de segregación experimental. El Índice de Segregación por Ultrasonidos (IS<sub>Ultrasonidos</sub>) se calcula según la Eq. 4.

$$IS_{Ultrasonidos} = \frac{VPU_{top}}{VPU_{bottom}} \quad (4)$$

Si  $IS_{Ultrasonidos} = 1$ , se puede considerar que la muestra presenta perfecta uniformidad.

## 4.3. ETAPA POR ANÁLISIS DE IMÁGENES

Las imágenes de las secciones se utilizaron para el cálculo del índice de segregación según Ke [64], esta vez utilizando la técnica de análisis de imagen. Para el tratamiento de las imágenes y para la determinación de las matrices de blancos y negros se utilizó el software libre ImageJ. La matriz resultante, mediante un método de recuento de puntos, se utilizó para calcular la densidad y el índice de segregación. El tratamiento de imágenes y la determinación de las matrices ha seguido el siguiente procedimiento:

### 4.3.1. TRATAMIENTO INICIAL DE LAS IMÁGENES

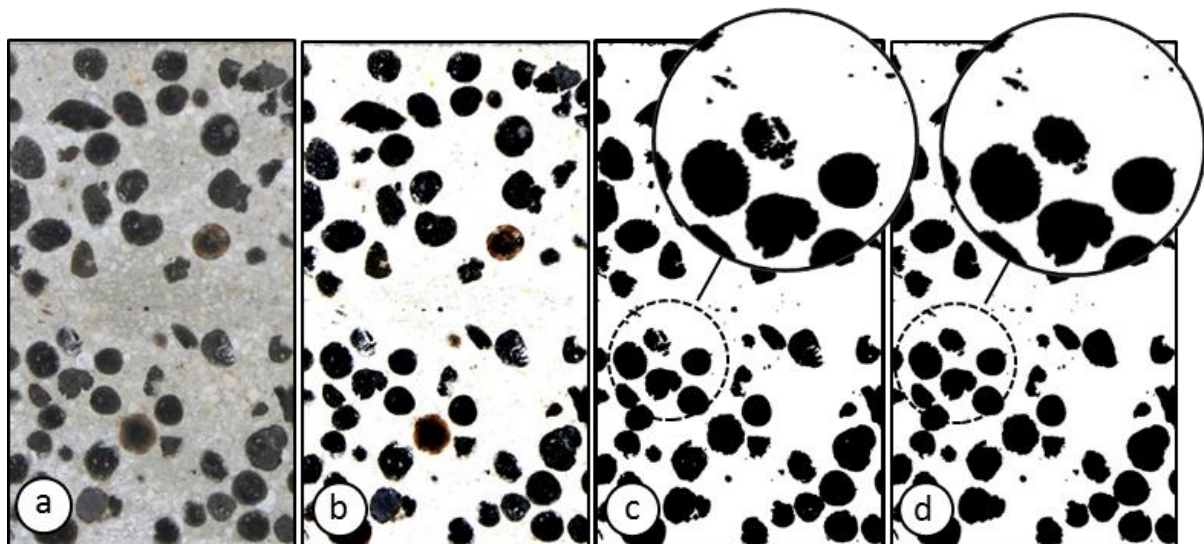


Figura 15 - Tratamiento de imágenes y binarización realizados en Image J.

El mismo tratamiento se realizó para todas las imágenes de las secciones: a partir de la imagen original se corregía la perspectiva, buscando eliminar cualquier error causado por el desnivel de la

cámara o de la superficie donde se apoyaban las probetas. Una vez realizada la corrección de perspectiva, se ajustaba el contraste, el umbral y se reducía el ruido, (Figura 15 b), se binarizaba la imagen (Figura 15 c) y se llenaban los vacíos internos de los áridos (Figura 15 d).

#### 4.3.2.BINARIZACIÓN

Con la binarización lo que se pretende es clasificar cada pixel de la imagen, diferenciando entre el árido ligero y el mortero. Se establece un código binario donde el color negro, con valor numérico igual a 1 equivale a partes de árido ligero y el color blanco, con valor numérico igual a 0 equivale a partes de la matriz de mortero (Figura 16).

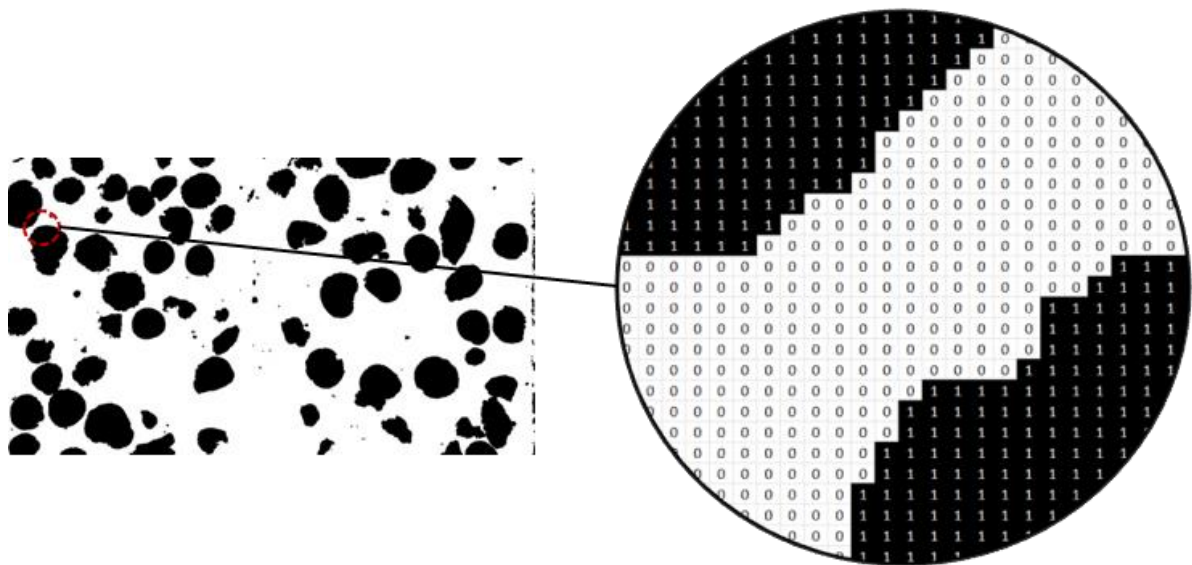


Figura 16 - Matriz binaria de blancos y negros

#### 4.3.3.PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE LAS MATRICES DE BLANCOS Y NEGROS.

##### DETERMINACIÓN DE LA FRACCIÓN VOLUMÉTRICA DE ÁRIDOS Y DE MORTERO, POR ANÁLISIS DE IMÁGENES.

Efectuando un recuento del número de elementos de color negro (árido) y del número de elementos de color blanco (mortero) de una determinada zona de la matriz, es posible estimar la fracción volumétrica o el porcentaje de áridos (o de mortero) en esta zona. Este recuento puede ser efectuado con una aplicación en MATLAB o utilizando el Microsoft Excel.

##### DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, POR ANÁLISIS DE IMÁGENES.

Para obtener las densidades por análisis de imágenes, el porcentaje de cada material presente en cada zona ha sido cuantificado como se ha descrito anteriormente y, una vez que los áridos y el mortero



que han sido previamente caracterizados. Al conocer los valores de sus densidades (tanto del mortero como del árido), estos son utilizados para calcular la densidad de cada sección a través de la ecuación 5, donde  $N_{\text{mortero}}$  es el porcentaje de pixeles de mortero presentes en la zona analizada,  $N_{\text{AL}}$  es el porcentaje de pixeles de áridos ligeros presentes en la zona analizada,  $\rho_{\text{mortero}}$  es la densidad seca de la matriz de mortero a los 28 días y  $\rho_{\text{AL}}$  es la densidad seca de los áridos ligeros.

$$\rho_{\text{sección}} = \frac{N_{\text{mortero}} * \rho_{\text{mortero}} + N_{\text{AL}} * \rho_{\text{AL}}}{N_{\text{mortero}} + N_{\text{AL}}} \quad (5)$$

Este procedimiento para determinar las densidades de las probetas por análisis de imágenes ha sido utilizado en otras publicaciones de Solak et al [84-86].

#### **ÍNDICE DE SEGREGACIÓN DE KE POR ANÁLISIS DE IMÁGENES ( $IS_{\text{KE AL}}$ ).**

Las matrices de blancos y negros, que representan las mitades de probeta, se separaron horizontalmente en cuatro partes de igual tamaño, equivalentes a los octavos de probeta. Las secciones superiores e inferiores se analizaron por separado y las densidades de dichas secciones se obtuvieron por análisis de imágenes. A partir de las densidades obtenidas para los octavos, se calcularon los índices de segregación utilizando el método propuesto por Ke [61] vía análisis de imágenes. El método se aplicó a 101 probetas, que equivalen a 202 matrices de blancos y negros y 808 octavos de probeta, de los cuales 404 han sido utilizados para el cálculo del índice de segregación según Ke [61].

#### **ÍNDICE DE SEGREGACIÓN DE NAVARRETE ET AL ( $IS_{\text{NAVARRETE-LOPEZ}}$ ) POR ANÁLISIS DE IMÁGENES.**

Utilizando las mismas matrices de datos, se calcularon otros índices de segregación. Para la obtención de los índices de segregación utilizando el método propuesto por Navarrete et al [67], la matriz de blancos y negros se separaba horizontalmente en tres partes de mismo tamaño, representando sextos de probeta. Aplicando una malla cuadrada, con puntos dispuestos a cada 0,57 mm, se efectuó un recuento del número de elementos de cada color en cada una de las tres secciones para obtener la fracción volumétrica para los sextos de probeta, y a partir de dichas fracciones volumétricas calcular los índices de segregación utilizando el método propuesto por Navarrete et al [67]. El método se aplicó a 101 probetas, que equivalen a 202 matrices de blancos y negros y 606 sextos de probeta, de los cuales 404 han sido utilizados para el cálculo del índice de segregación según Navarrete et al [67].

#### **ÍNDICE DE SEGREGACIÓN DE SOLAK ( $IS_{\text{SOLAK}}$ ), POR ANÁLISIS DE IMÁGENES.**

Uno de los objetivos de este trabajo era la propuesta de un nuevo índice de segregación, obtenido vía análisis de imágenes, que se adecuara al tipo de hormigón utilizado y que evaluara el fenómeno de manera más precisa, considerando los datos de 100% de la sección transversal de la probeta

analizada. Para la obtención del índice de segregación según Solak ( $IS_{Solak}$ ) la siguiente metodología debe ser aplicada:

### CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ÁRIDOS GLOBAL (IAG), CALCULADO PARA TODA LA SUPERFICIE ANALIZADA

El IAG representa la fracción volumétrica de áridos presentes en una sección transversal completa de una probeta y calculase con la siguiente ecuación:

$$IAG = \frac{N_{\text{áridos}}}{N_{\text{áridos}} + N_{\text{mortero}}} \quad (6)$$

$N_{\text{áridos}}$  - número total de elementos (píxeles) clasificados como árido.

$N_{\text{mortero}}$  - número total de elementos (píxeles) clasificados como mortero.

La sección transversal de la probeta será subdividida en “i” subsecciones que serán analizadas por separado, análogamente a los métodos de Ke [61] (4 rebanadas) y Navarrete et al [67] (3 rebanadas). El número mínimo de subsecciones es función de la precisión que se desee obtener. La Figura 17 presenta la variación del índice de segregación en función del número de secciones para algunas muestras utilizadas como ejemplo. A partir de 350 subsecciones (350 píxeles de altura) los valores se estabilizan.

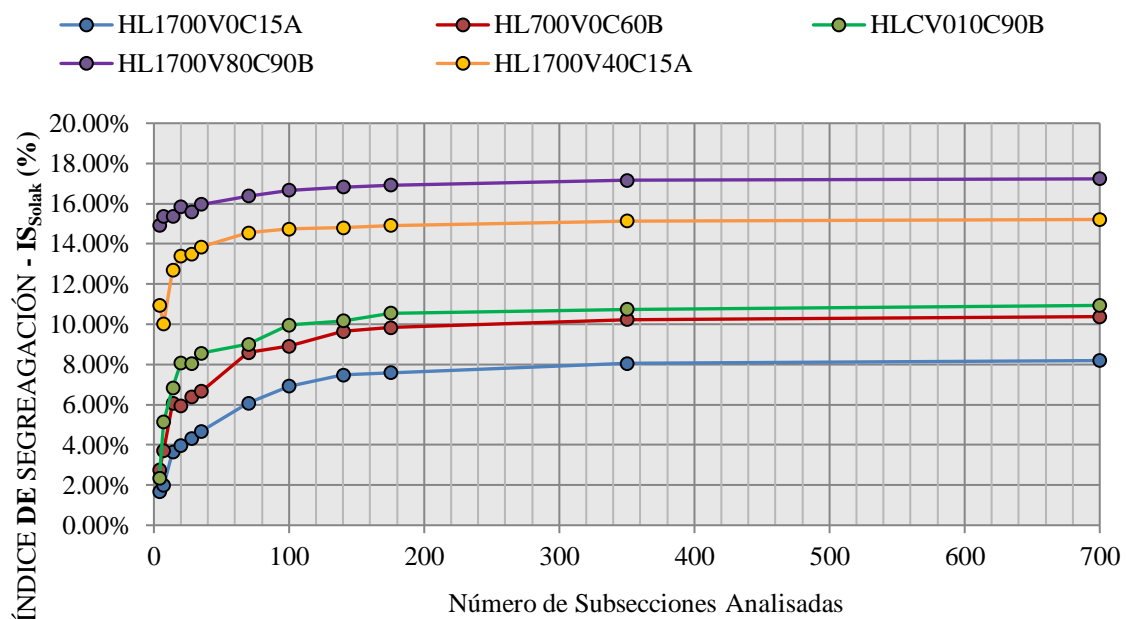


Figura 17 - Número mínimo de subsecciones para obtener una buena precisión (método de Solak).

### ÍNDICE DE ÁRIDOS LOCAL (IAL), CALCULADO PARA CADA UNA DE LAS SUBSECCIONES.

En cada subsección, aplicase el mismo raciocinio aplicado al IAG, pero localmente. El IAL representa la fracción volumétrica de áridos presentes en una determinada subsección que pertenezca





a una sección transversal de una probeta. En una situación teórica e ideal, donde no existe segregación, es decir, en una distribución homogénea de los áridos a lo largo de la probeta, los valores de IAL de las “i” subsecciones deberían ser iguales al IAG.

$$IAL = \frac{n_{\text{áridos}}}{n_{\text{áridos}} + n_{\text{mortero}}} \quad (7)$$

$n_{\text{áridos}}$  - número total de elementos (píxeles) de la subsección analizada clasificados como árido

$n_{\text{mortero}}$  - número total de elementos (píxeles) de la sección analizada clasificados como mortero.

### DESVIACIÓN LOCAL ABSOLUTA, CALCULADA PARA CADA SECCIÓN.

La diferencia absoluta entre el IAL de cada subsección y el IAG nos da una idea de cuán lejos esa subsección está de la situación ideal de homogeneidad. Es decir, cuanto mayor sea el valor de la DLA de una subsección, mayor será la segregación que ocurre en esta subsección.

$$DLA = |IAL_i - IAG| \quad (8)$$

Nota: si analizáramos la DL (Desviación Local), sin considerar los valores absolutos, resultados positivos indicarían que en la subsección analizada existe un exceso de áridos y resultados negativos que existe un exceso de mortero.

### COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN LOCAL (CDL) = PROMEDIO DE LAS DESVIACIONES LOCALES ABSOLUTAS.

El Coeficiente de Distribución Local (CDL) es el promedio de las “i” DLAs calculadas para las “i” subsecciones analizadas. Como 100% de la sección transversal de la probeta de hormigón es analizada, siempre existirá una compensación de áridos entre las subsecciones. Es decir, los áridos que salen de una determinada subsección, siempre se reubicarán en otra/otras subsecciones. Por lo tanto, si no utilizáramos el valor absoluto para el cálculo de las DLAs, el CDL siempre sería nulo.

El CDL es calculado con la siguiente ecuación:

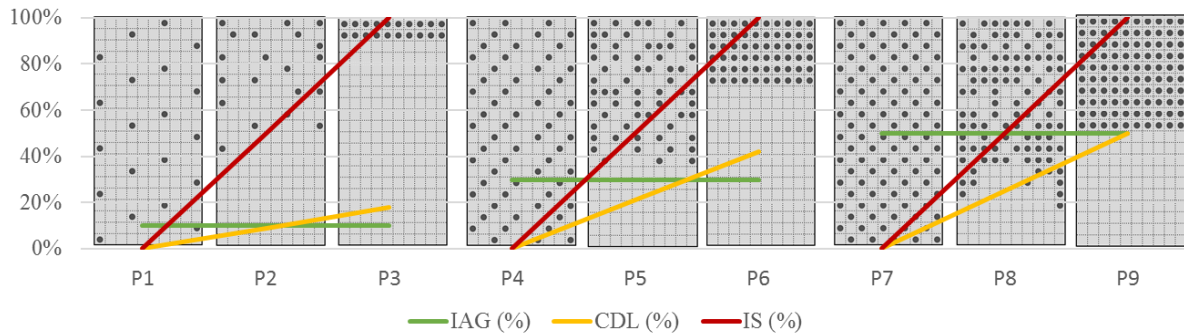
$$CDL = \frac{\sum_i DLA_i}{i} \quad (9)$$

$i$  - número total subsecciones analizadas.

### ÍNDICE DE SEGREGACIÓN DE SOLAK (IS<sub>SOLAK</sub>)

El CDL por si solo ya es un indicador de la segregación, pero sus valores están muy propensos a variaciones de acuerdo con las variaciones del IAG. Es decir, dos situaciones con IAGs diferentes, pero con grados de segregación parecidos pueden presentar una dispersión importante entre sus CDLs.

Para comprobar esta afirmación fueran desarrolladas probetas sintéticas con distintos IAGs (Figura 18). Se estableció que una situación donde ocurre la distribución homogénea de los áridos (P1, P4 y P7) equivale a un índice de segregación nulo,  $IS_{Solak} = 0\%$  (P1, P4, P7). La situación donde ocurre el máximo desplazamiento de los áridos, es decir, donde 100% de los áridos se concentran en el topo de la probeta, se consideró como la hipótesis de segregación máxima,  $IS_{Solak} = 100\%$  (P3, P6 y P9).



**Figura 18 - Probetas sintéticas. P1, P2 y P3: IAG= 10%; P4, P5 y P6: IAG=25%; P7, P8 y P9: IAG=50%.**

45 probetas sintéticas con diferentes IAGs y diferentes proporciones geométricas fueran confeccionadas con la intención de buscar un patrón que proporcionara un coeficiente de corrección para incluir cualquier probeta, con cualquier IAG, en una escala de segregación cuyo valor mínimo es 0% y el valor máximo es 100%. El Anexo A contempla todas las hipótesis estudiadas. En todas ellas se observó que el coeficiente de corrección (K) que permite evaluar todas las hipótesis dentro de la misma escala equivale a:

$$K = \frac{1}{2 \times IAG \times (1 - IAG)} \quad (10)$$

Así, el Índice de Segregación de Solak ( $IS_{Solak}$ ), puede ser determinado por la ecuación:

$$IS_{Solak} = K \times CDL \quad (11)$$

o por la equivalente ecuación:

$$IS_{Solak} = \frac{CDL}{2 \times IAG \times (1 - IAG)} \quad (12)$$

Microsoft Excel ha sido utilizado para procesar los datos de las matrices de blancos y negros. Cada sección fotografiada ha generado una matriz de datos organizada en 701 filas y 326 columnas, equivalentes a los 700x325 píxeles de cada una de las imágenes fotografiadas (reducidas de tamaño si comparadas a las imágenes originales), además de los ejes de referencia. Con el objetivo de facilitar el procesamiento de los datos y de obtener resultados más seguros, han sido creadas macros utilizando Visual Basic. A seguir, son presentadas las instrucciones para la utilización de dichas macros y la consecuente obtención de los índices de segregación, perfiles de densidad y de segregación:





Antes del análisis propiamente dicho, el primer paso es unificar todas las matrices provenientes de cada sección de hormigón en un único archivo. Para ello utilizase la macro que se encuentra en el archivo UNIR.xlsm (Figura 19). Antes de la ejecución de la macro, todas las matrices precisan ser ubicadas en un único directorio, y en ello también se ubicará el archivo UNIR.xlsm. La macro se activará pulsando el botón “Combine data in a single file”. Automáticamente se generará un nuevo fichero cuyo nombre será “AI\_Serie\_Matrices.xlsx” ubicado en el mismo directorio de las matrices de blancos y negros.

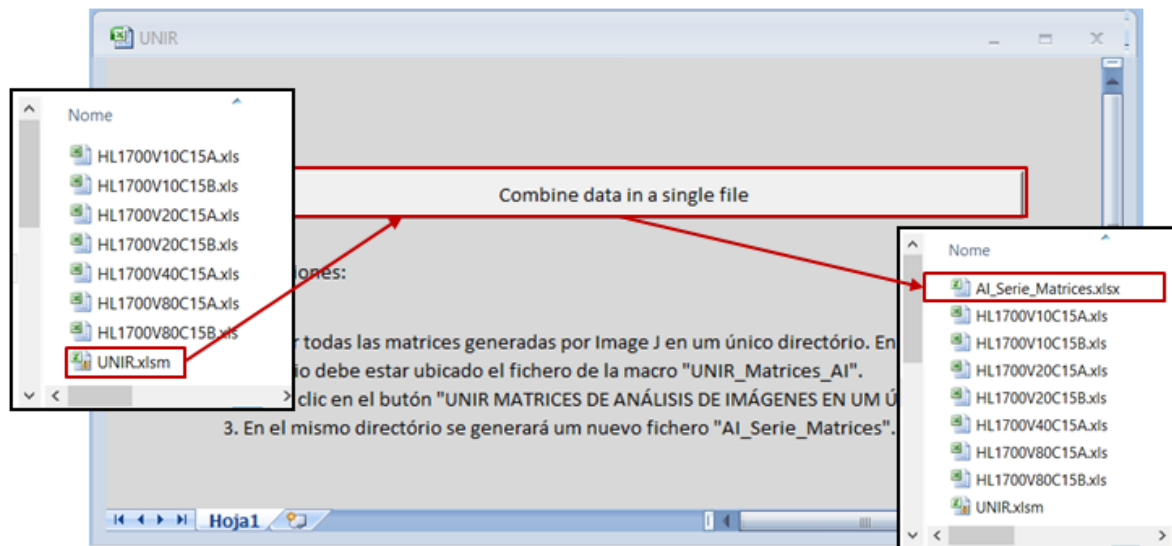
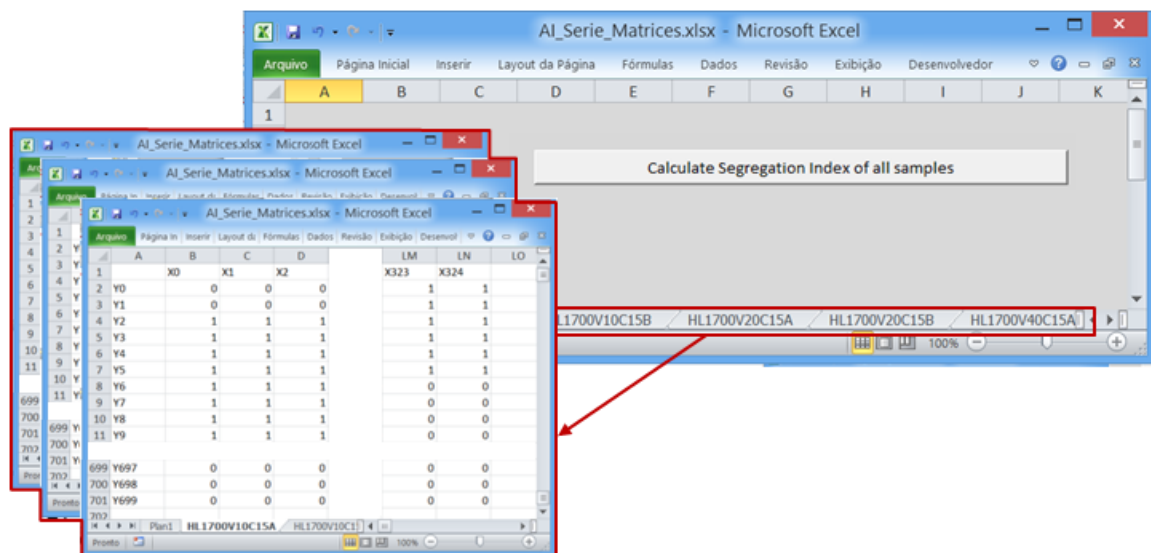
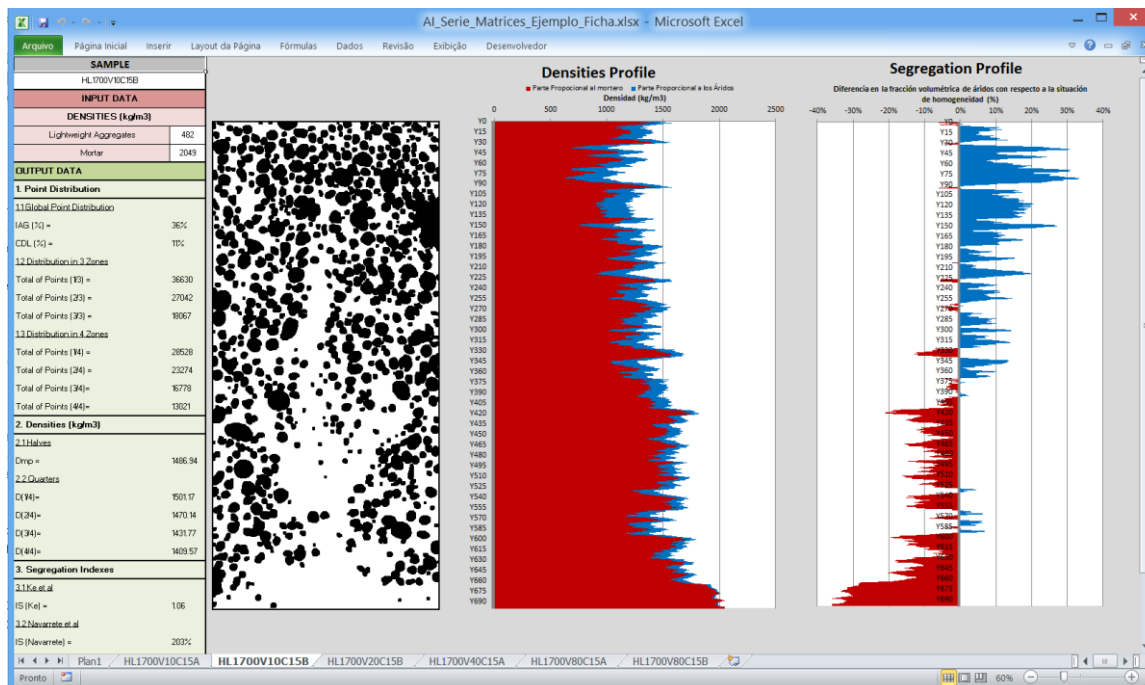


Figura 19 - UNIR.xlsm es la herramienta para unificar las todas las muestras en un unico archivo (AI\_Serie\_Matrices.xlsx) antes de la análisis de los datos.



*Segregation Index of all samples*”. Internamente la macro ejecutará un recuento de los puntos de cada región, y con base en los datos de entrada (densidad de la matriz de mortero y de los áridos ligeros), combinará la información para calcular las densidades de cada región, los índices de segregación de Ke [61], Navarrete et al [67] y Solak.



**Figura 21 - Fichas de Segregación, de la izquierda para la derecha: Tabla de resultados, representación gráfica de la muestra, perfil de densidades y perfil de segregación.**

Además de los índices y de las densidades, la Macro trazará los perfiles de densidad y segregación (Figura 21). El proceso se repetirá automáticamente para todas las muestras. Los resultados son representados en las Fichas de Segregación, generadas individualmente para cada muestra. El Anexo B contiene todas las fichas de las muestras utilizadas en este trabajo.

Los perfiles de densidad representan la variación de las densidades verticalmente en la probeta, el color rojo representa la parte proporcional de la densidad referente a la matriz de mortero y el color azul la parte proporcional a los áridos ligeros. Los perfiles de segregación representan la distribución de los áridos en función de la altura de la probeta, el color rojo representa una escasez de áridos en una determinada región, el color azul un exceso de áridos en una determinada región y los valores nulos representan la condición de homogeneidad.

#### 4.4. PROPIEDADES MECÁNICAS

Para evaluar las variaciones provocadas por la segregación en la resistencia a compresión ( $f_c$ ) al largo de la altura de las probetas, fueran extraídos testigos de los octavos previamente utilizados para determinar los índices de segregación.



De cada octavo de probeta se extraía un testigo, buscando extraerlo siempre de la zona del centroide de la sección, de modo que la zona utilizada para la obtención de las VPU y de la resistencia a compresión fueran las mismas.

Los ensayos de resistencia a compresión han sido realizados de acuerdo con las indicaciones de la norma UNE EN 12390-3, con atención a las indicaciones específicas del Anejo B, donde se recomienda el procedimiento para ensayar probetas con dimensiones que están fuera de las tolerancias de las dimensiones normalizadas en la norma UNE EN 12390-1. Los testigos extraídos de los octavos, con diámetro medio de 26 mm, han sido ensayados en una prensa de 3000 kN, con velocidad de carga de 0,25 MPa/s.

## 5. VALIDACIÓN DEL MÉTODO POR ANÁLISIS DE IMÁGENES PROPUESTO EN ESTE TRABAJO

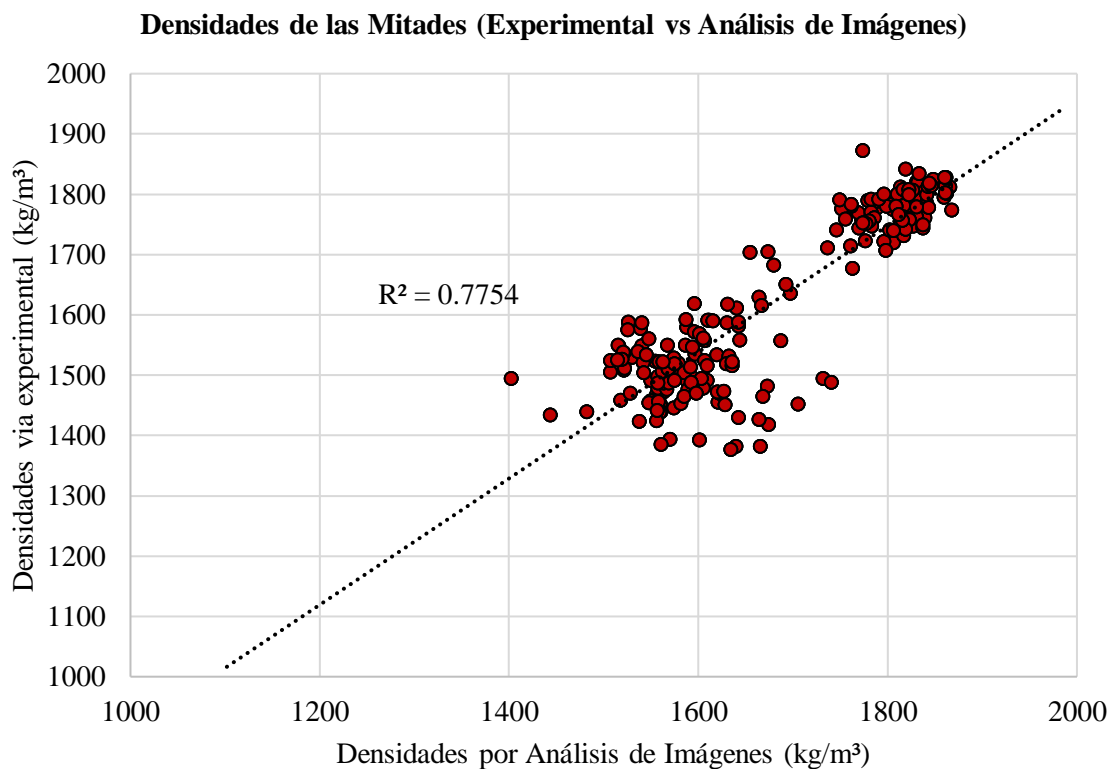
Con el objetivo de facilitar la lectura de los resultados, este capítulo ha sido dividido en dos apartados principales:

Apartado 5.1, donde se presentan los resultados que validan el método de cuantificación de la segregación por análisis de imágenes y el Índice de Segregación de Solak ( $IS_{Solak}$ ).

Apartado 5.2, donde se comparan todos los índices de segregación utilizados en esta investigación ( $IS_{Ultrasonidos}$ ,  $IS_{KE}$ ,  $IS_{KE\ AI}$ ,  $IS_{Navarrete-Lopez}$ ,  $IS_{Solak}$ ) buscando evaluar su precisión, su correlación con los demás métodos, el origen de los datos, sus ventajas y desventajas.

### 5.1. VALIDACIÓN DEL MÉTODO POR ANÁLISIS DE IMÁGENES

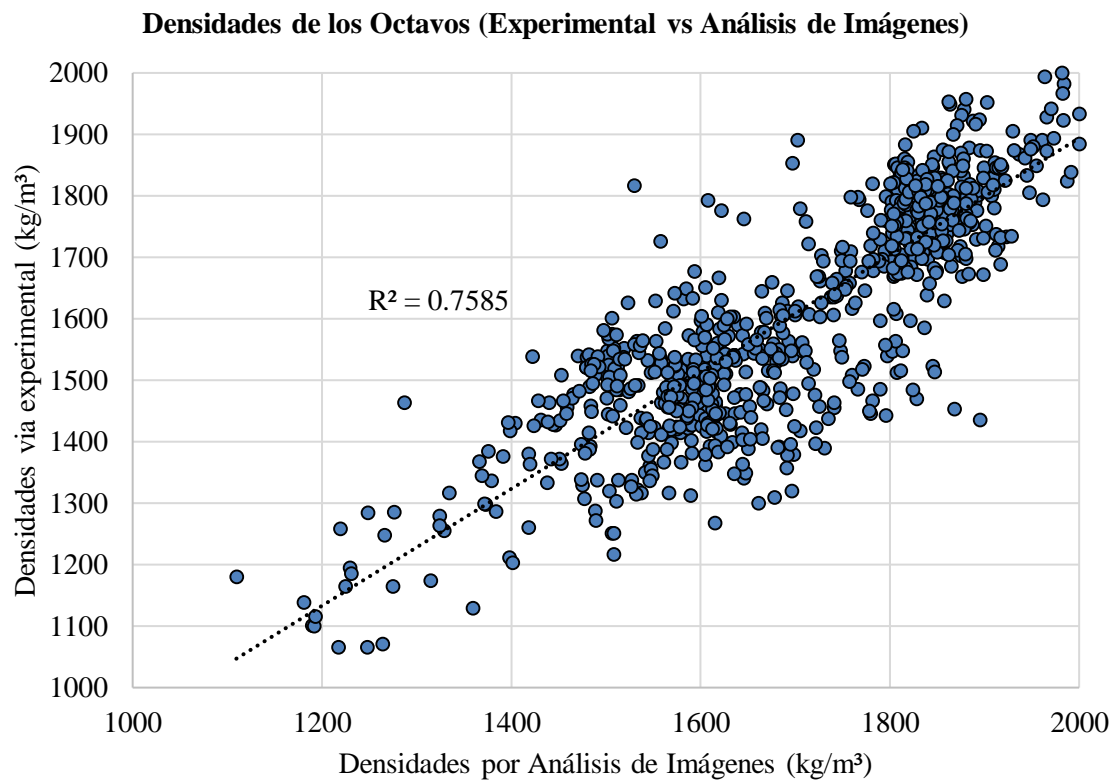
#### 5.1.1. CRITERIO DE VALIDACIÓN 1: DENSIDADES OBTENIDAS EXPERIMENTALMENTE VS DENSIDADES OBTENIDAS POR ANÁLISIS DE IMÁGENES



**Figura 22 - Densidades de las mitades de probeta: datos obtenidos por via experimental versus datos obtenidos por análisis de imágenes.**

Como se observa en la Figura 22 (mitades de probeta) y en la Figura 23 (octavos de probeta), con el uso de la técnica de análisis de imagen se obtienen valores muy próximos a los valores de densidad obtenidos experimentalmente. El método se demostró como una alternativa viable tanto para el

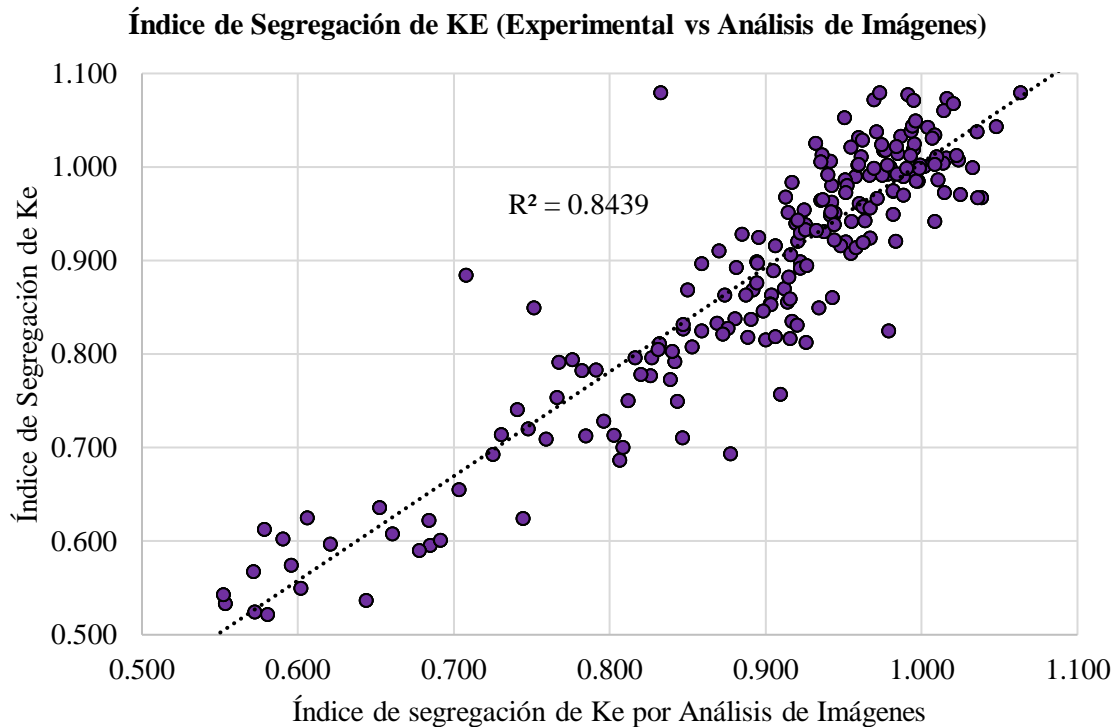
análisis en las mitades de probetas (208 muestras) con  $R^2 = 0,7754$  como en el análisis de los octavos de probetas (832 muestras) con  $R^2 = 0,7585$ . Se demuestra, por lo tanto, que esta técnica puede ser adecuada para estimar la densidad de los hormigones ligeros, si se conocen los valores de densidad tanto del mortero como del árido ligero.



**Figura 23 - Densidades de los octavos de probeta: datos obtenidos por via experimental versus datos obtenidos por análisis de imágenes.**

### **5.1.2.CRITERIO DE VALIDACIÓN 2: ÍNDICE DE SEGREGACIÓN DE KE CALCULADO EXPERIMENTALMENTE Y POR ANÁLISIS DE IMÁGENES**

Como se observa en la Figura 24, con el uso de la técnica de análisis de imagen se obtienen valores muy próximos, (208 muestras con  $R^2 = 0,8439$ ), a los valores del Índice de Segregación de Ke [61] obtenidos experimentalmente. Se demuestra, por lo tanto, que esta técnica puede ser adecuada para cuantificar el fenómeno de segregación de los hormigones ligeros usando los valores de densidad del mortero y del árido ligero para estimar un índice de segregación basado en la metodología propuesta por Ke [61].



**Figura 24 - Índice de segregación de Ke [61]: datos obtenidos por vía experimental versus datos obtenidos por análisis de imágenes.**

## 5.2. ÍNDICES DE SEGREGACIÓN DE OTROS AUTORES

Durante el desarrollo de este trabajo la segregación ha sido cuantificada utilizando diversos métodos, tanto por vías experimentales como por análisis de imágenes. Uno de los objetivos del estudio ha sido verificar la viabilidad de la aplicación de dichos métodos y la existencia de correlaciones entre los distintos índices de segregación presentados. Para ello, un estudio estadístico empleando coeficientes de correlación de Pearson y valores-p ha sido efectuado comparando los resultados de los distintos coeficientes. En total se realizaron 208 observaciones, referentes a las 104 probetas estudiadas (divididas en dos secciones). Los valores mínimos, máximos, medios y la desviación típica de los datos estudiados están presentados en la Tabla 8.

Variable	Observaciones	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Típica
IS <sub>Ultrasonidos</sub>	208	0.820	1.106	0.967	0.053
IS <sub>Ke</sub>	208	0.552	1.063	0.898	0.114
IS <sub>Ke AI</sub>	208	0.522	1.115	0.890	0.138
IS <sub>Navarrete-Lopez</sub>	208	0%	199%	46%	50%
IS <sub>Solak</sub>	208	11%	65%	23%	10%

**Tabla 8 - Características de los datos utilizados en el estudio estadístico.**



La correlación de Pearson es una medida estadística que permite evaluar la fuerza de una relación lineal entre dos variables. Sus valores están entre -1 y 1, donde valores cerca de 1 indican una fuerte correlación entre las variables estudiadas y valores cerca de cero indican la inexistencia de una relación lineal entre las variables. Si el valor del Coeficiente de Pearson es positivo la relación entre las variables es directamente proporcional, si es negativo la relación es inversamente proporcional. Como se observa en la matriz de correlaciones de Pearson (Tabla 9), y según la clasificación de Evans [87] existe una correlación “muy fuerte” ( $r=0,919$ ) entre el Índice de Segregación de Ke por vía experimental y el Índice de Segregación de Ke por análisis de imágenes, coherente con lo que ha sido presentando en el apartado 5.1.2.

La correlación entre los Índices de Segregación de Ke, obtenidos tanto por vía experimental como por análisis de imágenes, y el Índice de Segregación de Navarrete-Lopez también es considerada como “muy fuerte” según la escala de Evans [87]:  $r=-0,907$  y  $-0,917$  respectivamente. En este caso, el Coeficiente de Pearson indica que la correlación es inversamente proporcional, es decir, cuanto mayor es el índice de segregación de Ke, menor será el índice de segregación de Navarrete-Lopez.

Se observa la misma situación entre los Índices de Segregación de Ke, tanto por vía experimental como por análisis de imágenes, y el Índice de Segregación de Solak, presentado en el apartado 4.3.3 de este trabajo. Según la escala de Evans [87], los coeficientes de  $r=-0,865$  y  $-0,822$ , para el método experimental y el método de análisis de imágenes respectivamente, indican una correlación “muy fuerte” e inversamente proporcional entre los dos índices.

El Índice de Segregación de Navarrete-Lopez y el Índice de Segregación de Solak han presentado la mejor correlación entre los índices estudiados ( $r=0,925$ ), “muy fuerte” según la escala de Evans [87]. Los resultados de ambos los métodos son presentados en la misma magnitud y sus datos provienen de la misma fuente: fotografías de las secciones transversales de las probetas.

El Índice de Segregación calculado utilizando los datos de las velocidades de paso de ondas ultrasónicas ha presentado menores correlaciones con todos los demás índices de segregación, pero dentro de la Escala de Evans [87] puede ser clasificada como una correlación “moderada” o “fuerte”, siendo directamente proporcional a los Índices de Ke (experimental y análisis de imágenes) e inversamente proporcional a los Índices de Navarrete-Lopez y Solak.

Variables	ISUltrasonidos	ISKe	ISKe AI	ISNavarrete-Lopez	ISSolak
ISUltrasonidos	1	0.638	0.572	-0.596	-0.541
ISKe	0.638	1	0.919	-0.907	-0.865
ISKe AI	0.572	0.919	1	-0.917	-0.822
ISNavarrete-Lopez	-0.596	-0.907	-0.917	1	0.925
ISSolak	-0.541	-0.865	-0.822	0.925	1

**Tabla 9 - Matriz de correlaciones de Pearson entre los Índices de Segregación estudiados.**





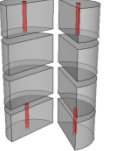
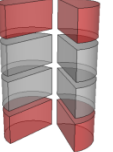
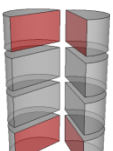
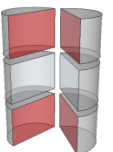
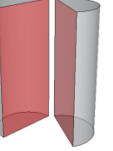
Variables	IS <sub>Ultrasonidos</sub>	IS <sub>Ke</sub>	IS <sub>Ke AI</sub>	IS <sub>Navarrete-Lopez</sub>	IS <sub>Solak</sub>
IS <sub>Ultrasonidos</sub>	0	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
IS <sub>Ke</sub>	< 0.05	0	< 0.05	< 0.05	< 0.05
IS <sub>Ke AI</sub>	< 0.05	< 0.05	0	< 0.05	< 0.05
IS <sub>Navarrete-Lopez</sub>	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0	< 0.05
IS <sub>Solak</sub>	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0

Tabla 10- Matriz de valores-p



**01 fenómeno de la segregación en hormigones ligeros.  
Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.**



Método	Tipo	Escala	Correlación con los demás métodos <sup>1</sup>	Ventajas	Desventajas	Caracterización de Materiales	Origen de los datos	Resultados
<b>Ultrasonidos (IS<sub>Ultrasonidos</sub>)</b>	Experimental	-	Moderada	-Facilidad en la obtención de los datos.	- Menor precisión. - Desconsidera los datos de la zona central de la probeta	-No es necesaria		- Índice de Segregación
<b>Ke et al (IS<sub>Ke</sub>)</b>	Experimental	Is=1,0 perfecta uniformidad. Is ≤ 0,95 indica un comienzo de segregación importante.	Muy fuerte	- Eliminase la etapa de “corte vertical” de las probetas.	- Desconsidera los datos de la zona central de la probeta. - Necesita de la caracterización previa de materiales.	-Medición de la densidad seca de las secciones superiores e inferiores de las probetas.		- Índice de Segregación
<b>Ke et al por análisis de imágenes (IS<sub>KE AI</sub>)</b>	Análisis de imágenes	Is=1,0 perfecta uniformidad. Is ≤ 0,95 indica un comienzo de segregación importante.	Muy fuerte	- Eliminase la etapa de “corte horizontal” de las probetas.	- Desconsidera los datos de la zona central de la probeta. - Necesita de la caracterización previa de materiales. - La precisión del método depende da la buena distinción entre los áridos y la matriz de mortero (imagen).	- Caracterización de la densidad seca de la matriz de mortero. - Caracterización de la densidad seca de los áridos ligeros.		- Índice de Segregación
<b>Navarrete et al (IS<sub>Navarrete-Lopez</sub>)</b>	Análisis de imágenes	0 % a 40 % - Ninguno a ligero 40 % a 80 % - Moderado 80 % a 120 % - Severo 120 % a 160 % - Levemente estratificado 160 % a 200 % - Altamente estratificado	Muy fuerte	- Eliminase la etapa de “corte horizontal” de las probetas.	- Desconsidera los datos de la zona central de la probeta. - La precisión del método depende da la buena distinción entre los áridos y la matriz de mortero (imagen).	-No es necesaria		Índice de Segregación
<b>Solak (IS<sub>Solak</sub>)</b>	Análisis de imágenes	0 % - Distribución Homogénea 100 % - Segregación Máxima	Fuerte	- Eliminase la etapa de “corte horizontal” de las probetas.	- La precisión del método depende da la buena distinción entre los áridos y la matriz de mortero (imagen).	-No es necesaria		- Índice de Segregación - Perfiles de Segregación

<sup>1</sup> Concepto de la Escala de Evans aplicado al promedio de las correlaciones de Pearson entre todos los demás métodos.

**Tabla 11 - Comparativo entre los métodos de cuantificación de la segregación estudiados**



## 6. RESULTADOS OBTENIDOS PARA LOS HORMIGONES ESTUDIADOS

En este capítulo, se presentan los resultados referentes a las densidades, índices de segregación, velocidades de paso de ultrasonido y resistencia a compresión obtenidos para cada tiempo de vibrado. Los resultados son presentados de acuerdo con las características de cada hormigón (véase Tabla 3) y su tiempo de fabricación. Con el objetivo de facilitar la lectura de los resultados, este capítulo ha sido dividido en cuatro apartados principales:

Apartado 6.1, donde se presentan los resultados de los Índices de Segregación comparados con los tiempos de vibrado. Todos los hormigones fabricados poseen resultados en este apartado, se encuentran resumidos en la Tabla 12 y detallados en los gráficos del subapartado 6.1.1 al subapartado 6.1.20.

Apartado 6.3, donde se presentan los resultados de las densidades reales secas, medidas experimentalmente, comparados con los tiempos de vibrado. Todos los hormigones fabricados poseen resultados en este apartado, se encuentran resumidos en la Tabla 13 y detallados en los gráficos del subapartado 6.3.1 al subapartado 6.5.20.

Apartado 6.5, donde se presentan los resultados de las velocidades de paso de ultrasonidos, comparados con los tiempos de vibrado. Todos los hormigones fabricados poseen resultados en este apartado, se encuentran resumidos en la Tabla 14 y detallados en los gráficos del subapartado 6.5.1 al subapartado 6.5.20.

Apartado 6.7, donde se presentan los resultados de las resistencias a compresión de los testigos extraídos de los octavos de probeta, comparados con los tiempos de vibrado. Solamente los hormigones HL1, HL2, HL3 y HL4 fueran sometidos a este ensayo, y se encuentran resumidos en la Tabla 15 y detallados en los gráficos del subapartado 6.7.1 al subapartado 6.7.16.

Además, todos los resultados expresados en este capítulo, están asociados a las fichas de segregación detalladas en el Anexo B.



**El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros.  
Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.**



**6.1. RESULTADOS: ÍNDICES DE SEGREGACIÓN (IS) VERSUS TIEMPO DE VIBRADO (TV).**

Hormigón	Densidad Teórica	Tiempo de Fabricación	Índice de Segregación	Tiempo de vibrado total													
				0 s	0 s	5 s	5 s	10 s	10 s	20 s	20 s	40 s	40 s	80 s	80 s	160 s	160 s
HL1	1700 kg/m <sup>3</sup>	15 min	IS Ultrasonidos	0.97	0.97	-	-	-	-	1.01	1.02	0.97	0.90	1.03	0.97	0.98	0.86
			IS KE	0.99	0.99	-	-	-	-	0.95	0.96	0.92	0.91	0.90	0.89	0.84	0.85
			IS KE AI	0.99	1.02	-	-	-	-	0.92	0.96	0.92	0.97	0.82	0.87	0.79	0.83
			IS Navarrete	4%	4%	-	-	-	-	12%	2%	26%	13%	35%	27%	50%	38%
			IS Solak	12%	14%	-	-	-	-	17%	17%	17%	15%	21%	18%	23%	21%
HL2	1700 kg/m <sup>3</sup>	30 min	IS Ultrasonidos	0.97	0.97	-	-	-	-	0.96	0.96	0.93	0.98	0.99	0.94	0.97	0.95
			IS KE	0.99	0.98	-	-	-	-	0.97	0.95	0.97	0.97	0.96	0.92	0.91	0.90
			IS KE AI	1.03	0.82	-	-	-	-	0.92	0.92	0.99	1.04	1.01	0.94	0.87	0.86
			IS Navarrete	3%	40%	-	-	-	-	20%	20%	1%	11%	8%	11%	29%	28%
			IS Solak	12%	21%	-	-	-	-	15%	14%	14%	14%	14%	16%	20%	21%
HL3	1700 kg/m <sup>3</sup>	60 min	IS Ultrasonidos	1.00	0.96	-	-	-	-	0.96	1.03	0.98	0.95	1.02	0.92	0.95	1.00
			IS KE	0.99	0.97	-	-	-	-	0.96	0.96	0.94	0.92	0.89	0.91	0.85	0.86
			IS KE AI	1.08	1.07	-	-	-	-	0.99	0.96	0.98	0.98	0.90	0.86	0.87	0.82
			IS Navarrete	15%	17%	-	-	-	-	1%	12%	0%	0%	29%	44%	27%	40%
			IS Solak	15%	14%	-	-	-	-	13%	15%	16%	17%	18%	18%	18%	21%
HL4	1700 kg/m <sup>3</sup>	90 min	IS Ultrasonidos	0.89	0.95	-	-	-	-	0.97	1.01	0.93	1.06	0.97	0.97	0.88	0.99
			IS KE	1.02	0.99	-	-	-	-	0.96	0.94	0.93	0.95	0.88	0.89	0.85	0.84
			IS KE AI	1.07	1.12	-	-	-	-	0.94	0.96	1.03	0.99	0.84	0.88	0.83	0.77
			IS Navarrete	21%	30%	-	-	-	-	10%	8%	5%	2%	46%	34%	58%	68%
			IS Solak	15%	15%	-	-	-	-	17%	14%	14%	14%	19%	17%	22%	24%
HL2	1900 kg/m <sup>3</sup>	15 min	IS Ultrasonidos	1.00	1.06	-	-	-	-	0.99	0.96	1.00	0.99	0.96	0.99	0.96	0.91
			IS KE	1.00	1.01	-	-	-	-	0.98	0.98	0.95	0.94	0.94	0.94	0.90	0.89
			IS KE AI	1.00	0.99	-	-	-	-	1.02	1.02	0.98	0.95	0.93	0.95	0.89	0.86
			IS Navarrete	5%	7%	-	-	-	-	2%	16%	2%	16%	30%	22%	56%	73%
			IS Solak	16%	18%	-	-	-	-	20%	18%	17%	18%	19%	20%	21%	24%
HL3	1900 kg/m <sup>3</sup>	30 min	IS Ultrasonidos	1.01	1.02	-	-	-	-	0.98	1.02	0.99	0.99	0.99	0.95	0.93	0.97
			IS KE	0.99	1.00	-	-	-	-	0.99	1.00	0.94	0.97	0.94	0.92	0.92	0.91
			IS KE AI	0.99	1.00	-	-	-	-	0.99	1.03	0.99	0.96	0.92	0.93	0.86	0.88
			IS Navarrete	3%	7%	-	-	-	-	8%	13%	2%	11%	35%	41%	60%	47%
			IS Solak	17%	17%	-	-	-	-	16%	17%	19%	18%	24%	24%	27%	26%
HL4	1900 kg/m <sup>3</sup>	60 min	IS Ultrasonidos	1.05	1.00	-	-	-	-	0.96	0.96	0.91	0.95	0.94	0.90	0.89	0.96
			IS KE	1.02	1.01	-	-	-	-	0.98	0.96	0.93	0.91	0.92	0.88	0.87	0.87
			IS KE AI	1.01	1.00	-	-	-	-	1.02	1.03	0.94	0.95	0.90	0.89	0.86	0.83
			IS Navarrete	4%	1%	-	-	-	-	11%	13%	26%	15%	37%	38%	51%	59%
			IS Solak	19%	17%	-	-	-	-	18%	20%	17%	20%	18%	20%	22%	25%
HL5	1900 kg/m <sup>3</sup>	90 min	IS Ultrasonidos	1.05	1.02	-	-	-	-	0.97	1.08	0.99	0.96	1.01	0.97	0.95	0.98



**El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros.  
Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.**



			IS <sub>KE</sub>	1.00	1.00	-	-	-	-	0.99	0.99	0.98	0.95	0.96	0.94	0.94	0.93
			IS <sub>KE AI</sub>	0.99	0.99	-	-	-	-	1.07	1.04	1.00	1.05	1.00	1.01	0.95	0.93
			IS <sub>Navarrete</sub>	10%	10%	-	-	-	-	38%	16%	12%	31%	17%	11%	11%	19%
			IS <sub>Solak</sub>	16%	14%	-	-	-	-	19%	17%	19%	16%	23%	25%	27%	29%
HL3	1700 kg/m <sup>3</sup>	15 min	IS <sub>Ultrasonidos</sub>	0.92	1.03	-	-	1.00	0.94	0.94	1.01	0.98	0.88	0.82	0.92	-	-
			IS <sub>KE</sub>	1.04	0.95	-	-	0.92	0.89	0.75	0.93	0.74	0.88	0.60	0.64	-	-
			IS <sub>KE AI</sub>	1.04	0.97	-	-	0.91	0.90	0.85	0.81	0.62	0.69	0.57	0.54	-	-
			IS <sub>Navarrete</sub>	15%	5%	-	-	19%	19%	44%	70%	124%	117%	160%	173%	-	-
			IS <sub>Solak</sub>	15%	19%	-	-	18%	19%	20%	22%	37%	34%	42%	45%	-	-
HL4	1700 kg/m <sup>3</sup>	30 min	IS <sub>Ultrasonidos</sub>	0.98	1.04	-	-	0.97	0.95	0.84	0.97	0.91	0.99	0.87	0.86	-	-
			IS <sub>KE</sub>	0.98	0.98	-	-	0.71	0.92	0.89	0.89	0.70	0.73	0.62	0.60	-	-
			IS <sub>KE AI</sub>	0.99	0.99	-	-	0.88	0.89	0.84	0.82	0.66	0.71	0.60	0.55	-	-
			IS <sub>Navarrete</sub>	4%	4%	-	-	23%	25%	53%	49%	134%	126%	162%	170%	-	-
			IS <sub>Solak</sub>	16%	16%	-	-	22%	19%	22%	26%	36%	34%	43%	44%	-	-
HL5	1700 kg/m <sup>3</sup>	60 min	IS <sub>Ultrasonidos</sub>	0.96	1.03	-	-	0.98	1.01	0.89	1.02	0.94	0.91	0.87	0.88	-	-
			IS <sub>KE</sub>	0.99	1.01	-	-	0.87	0.93	0.88	0.92	0.81	0.81	0.59	0.66	-	-
			IS <sub>KE AI</sub>	1.01	0.94	-	-	0.91	0.85	0.83	0.84	0.69	0.70	0.60	0.61	-	-
			IS <sub>Navarrete</sub>	1%	25%	-	-	23%	42%	55%	56%	111%	107%	143%	137%	-	-
			IS <sub>Solak</sub>	16%	19%	-	-	17%	23%	20%	22%	31%	31%	38%	37%	-	-
HL6	1700 kg/m <sup>3</sup>	90 min	IS <sub>Ultrasonidos</sub>	0.93	0.98	-	-	0.98	0.95	0.94	1.01	0.94	0.95	0.92	0.93	-	-
			IS <sub>KE</sub>	0.94	1.02	-	-	0.97	0.99	0.90	0.90	0.84	0.91	0.68	0.69	-	-
			IS <sub>KE AI</sub>	0.94	0.97	-	-	0.97	1.00	0.85	0.93	0.75	0.76	0.60	0.60	-	-
			IS <sub>Navarrete</sub>	9%	14%	-	-	11%	5%	34%	20%	80%	87%	142%	139%	-	-
			IS <sub>Solak</sub>	16%	15%	-	-	18%	18%	22%	19%	26%	28%	40%	39%	-	-
HL4	1900 kg/m <sup>3</sup>	15 min	IS <sub>Ultrasonidos</sub>	1.02	1.02	-	-	1.02	0.99	0.93	1.05	1.03	0.95	0.96	0.96	-	-
			IS <sub>KE</sub>	1.01	0.99	-	-	0.95	0.97	0.92	0.94	0.83	0.83	0.73	0.78	-	-
			IS <sub>KE AI</sub>	1.01	1.04	-	-	1.02	1.02	0.95	0.96	0.80	1.08	0.69	0.71	-	-
			IS <sub>Navarrete</sub>	12%	40%	-	-	22%	1%	22%	20%	102%	25%	167%	153%	-	-
			IS <sub>Solak</sub>	22%	24%	-	-	21%	19%	24%	24%	30%	27%	49%	47%	-	-
HL5	1900 kg/m <sup>3</sup>	30 min	IS <sub>Ultrasonidos</sub>	1.05	0.94	-	-	0.97	0.99	0.99	0.96	0.97	0.94	0.96	0.90	-	-
			IS <sub>KE</sub>	1.00	1.00	-	-	0.96	0.94	0.91	0.92	0.83	0.78	0.74	0.75	-	-
			IS <sub>KE AI</sub>	1.04	1.05	-	-	0.94	1.01	0.92	0.94	0.81	0.78	0.74	0.72	-	-
			IS <sub>Navarrete</sub>	21%	41%	-	-	33%	0%	57%	23%	73%	92%	170%	158%	-	-
			IS <sub>Solak</sub>	21%	26%	-	-	23%	21%	24%	23%	26%	31%	44%	41%	-	-
HL6	1900 kg/m <sup>3</sup>	60 min	IS <sub>Ultrasonidos</sub>	1.08	1.01	-	-	0.96	0.96	1.09	0.98	0.95	0.93	0.88	0.94	-	-
			IS <sub>KE</sub>	0.97	0.97	-	-	0.97	0.96	0.98	0.94	0.83	0.85	0.77	0.80	-	-
			IS <sub>KE AI</sub>	0.99	0.99	-	-	1.08	1.03	0.97	1.01	0.81	0.81	0.79	0.73	-	-
			IS <sub>Navarrete</sub>	4%	10%	-	-	25%	14%	12%	0%	84%	101%	107%	123%	-	-
			IS <sub>Solak</sub>	21%	19%	-	-	27%	23%	22%	22%	28%	29%	30%	32%	-	-
HL7	1900 kg/m <sup>3</sup>	90 min	IS <sub>Ultrasonidos</sub>	1.06	0.98	-	-	0.93	1.00	0.93	1.07	0.96	0.88	0.96	0.90	-	-



**El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros.  
Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.**



			IS <sub>KE</sub>	0.98	0.96	-	-	0.98	0.98	0.98	0.97	0.93	0.88	0.85	0.81	-	-
			IS <sub>KE AI</sub>	0.95	1.00	-	-	1.00	0.97	1.02	1.00	0.89	0.93	0.71	0.75	-	-
			IS <sub>Navarrete</sub>	16%	5%	-	-	18%	2%	10%	1%	38%	29%	134%	113%	-	-
			IS <sub>Solak</sub>	22%	19%	-	-	21%	19%	21%	21%	23%	23%	38%	33%	-	-
HL5	1700 kg/m <sup>3</sup>	15 min	IS <sub>Ultrasonidos</sub>	-	-	0.97	1.01	0.94	1.05	0.89	0.92	0.88	0.91	0.86	0.84	0.85	0.88
			IS <sub>KE</sub>	-	-	0.95	0.96	0.94	0.90	0.79	0.78	0.61	0.65	0.57	0.58	0.55	0.55
			IS <sub>KE AI</sub>	-	-	0.91	0.91	0.97	0.85	0.78	0.79	0.63	0.64	0.57	0.61	0.53	0.54
			IS <sub>Navarrete</sub>	-	-	22%	17%	25%	51%	85%	91%	142%	139%	193%	195%	199%	196%
			IS <sub>Solak</sub>	-	-	19%	19%	23%	24%	26%	28%	37%	37%	61%	60%	65%	63%
HL6	1700 kg/m <sup>3</sup>	15 min	IS <sub>Ultrasonidos</sub>	-	-	0.98	0.99	1.02	0.98	0.95	0.93	0.99	0.92	0.87	0.91	0.86	0.90
			IS <sub>KE</sub>	-	-	1.01	1.01	1.00	0.93	0.90	0.86	0.77	0.83	0.68	0.68	0.57	0.58
			IS <sub>KE AI</sub>	-	-	1.06	1.03	1.00	0.93	0.85	0.90	0.75	0.78	0.62	0.59	0.52	0.52
			IS <sub>Navarrete</sub>	-	-	16%	7%	13%	28%	36%	34%	61%	54%	128%	127%	188%	193%
			IS <sub>Solak</sub>	-	-	20%	16%	17%	16%	21%	16%	20%	21%	36%	38%	62%	64%
HL7	1700 kg/m <sup>3</sup>	15 min	IS <sub>Ultrasonidos</sub>	-	-	1.01	1.04	1.01	1.11	1.07	1.03	0.99	0.95	0.91	0.92	1.00	0.99
			IS <sub>KE</sub>	-	-	1.02	1.04	1.03	1.02	1.04	1.01	0.98	0.96	0.92	0.87	0.82	0.82
			IS <sub>KE AI</sub>	-	-	1.01	0.97	1.00	1.07	0.97	0.97	0.92	0.92	0.83	0.82	0.78	0.80
			IS <sub>Navarrete</sub>	-	-	0%	10%	7%	19%	4%	7%	18%	20%	42%	41%	57%	55%
			IS <sub>Solak</sub>	-	-	13%	13%	15%	14%	11%	12%	12%	14%	19%	20%	22%	20%
HL8	1700 kg/m <sup>3</sup>	15 min	IS <sub>Ultrasonidos</sub>	-	-	1.03	1.00	0.99	1.02	1.10	1.01	0.97	0.98	0.98	0.99	1.03	0.91
			IS <sub>KE</sub>	-	-	1.01	1.06	1.05	1.02	1.01	0.99	0.94	0.91	0.84	0.92	0.76	0.80
			IS <sub>KE AI</sub>	-	-	1.03	1.08	1.04	1.01	1.00	0.97	0.86	0.82	0.80	0.82	0.71	0.71
			IS <sub>Navarrete</sub>	-	-	4%	16%	11%	5%	0%	1%	47%	61%	48%	53%	88%	73%
			IS <sub>Solak</sub>	-	-	14%	15%	12%	12%	11%	13%	19%	21%	20%	20%	31%	28%

**Tabla 12 - Resultados: índices de segregación según diversos autores, de acuerdo con las propiedades de cada hormigón y el tiempo de vibrado.**



### 6.1.1.IS X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 1 (HL1), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 25 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Ke, Ke por análisis de imágenes y por Ultrasonidos, para cada tiempo de vibrado. La Figura 26 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Navarrete-Lopez y Solak, para cada tiempo de vibrado.

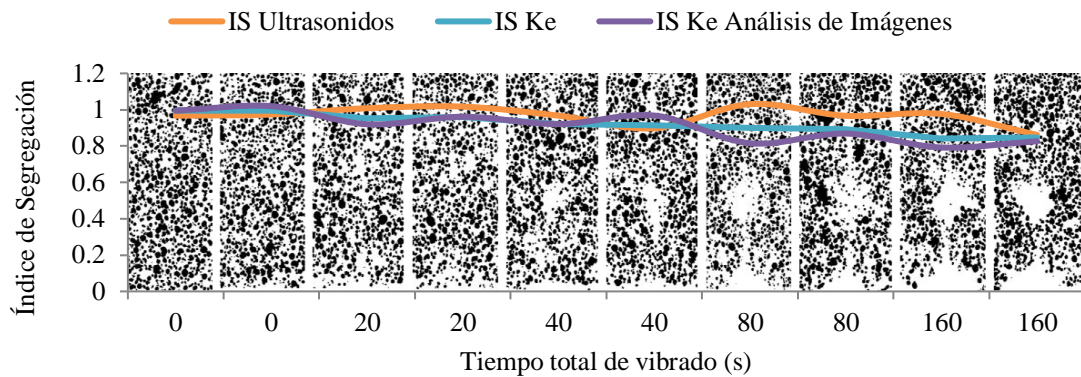


Figura 25 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 15 min

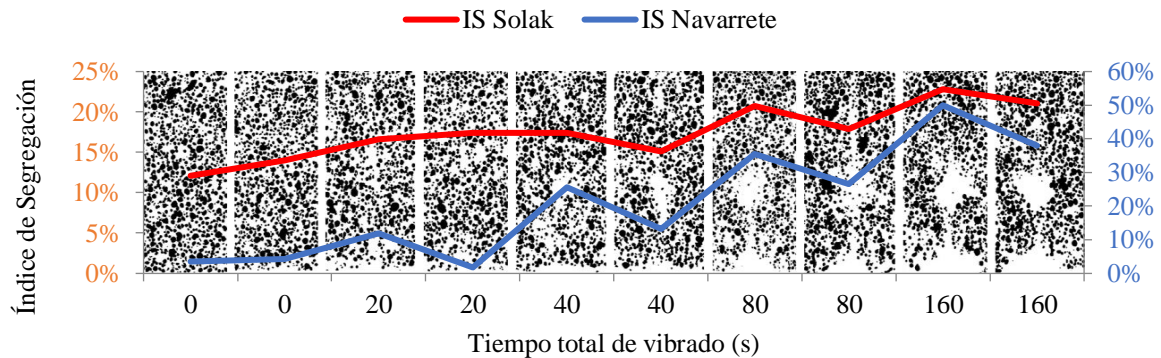


Figura 26 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 15 min

### 6.1.2.IS X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 1 (HL1), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 30 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 27 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Ke, Ke por análisis de imágenes y por Ultrasonidos, para cada tiempo de vibrado.





vibrado. La Figura 28 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Navarrete-Lopez y Solak, para cada tiempo de vibrado.

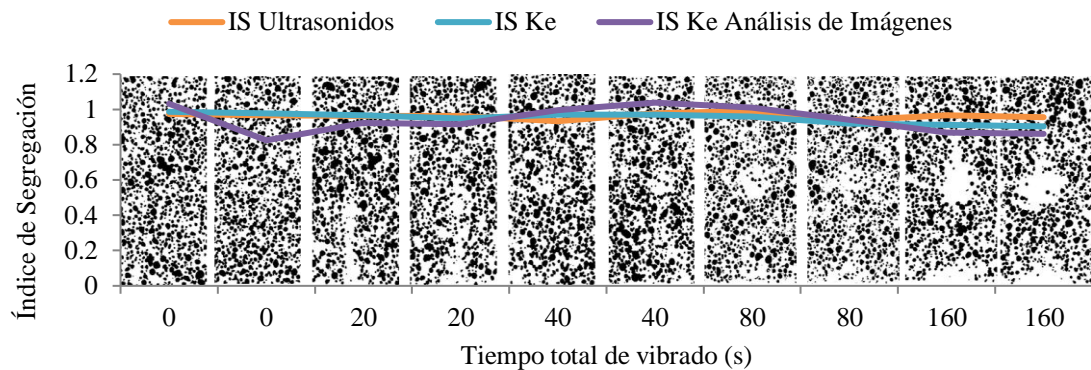


Figura 27 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 30 min

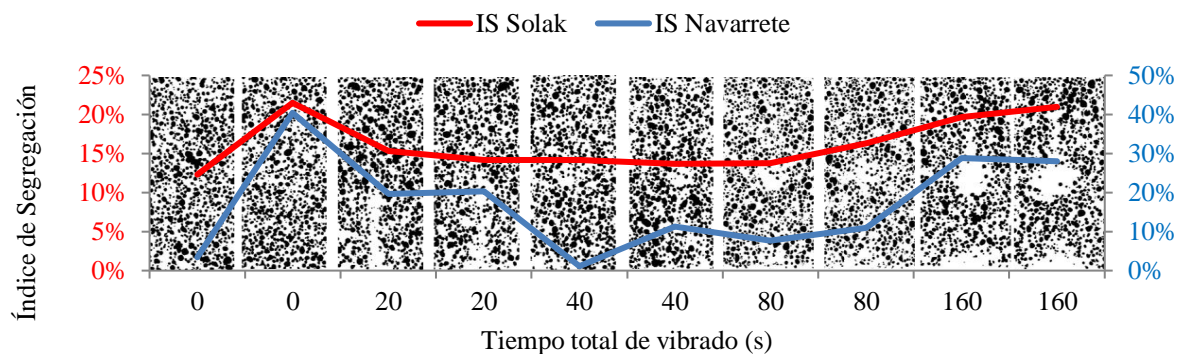


Figura 28 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 30 min

### 6.1.3.IS X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 1 (HL1), diseñado para una densidad teórica de 1700 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 60 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 29 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Ke, Ke por análisis de imágenes y por Ultrasonidos, para cada tiempo de vibrado. La Figura 30 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Navarrete-Lopez y Solak, para cada tiempo de vibrado.

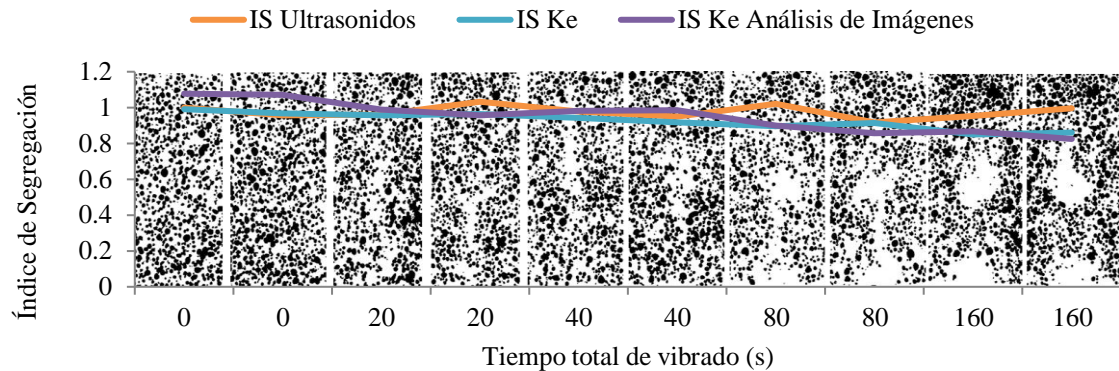


Figura 29 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min

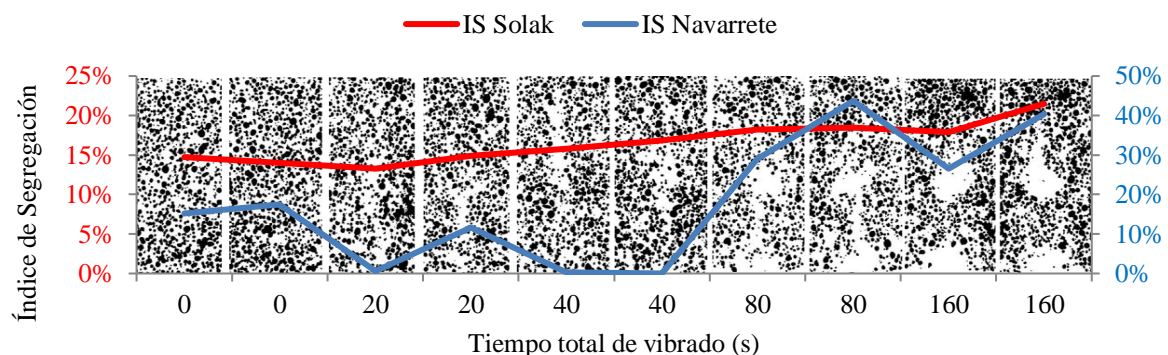


Figura 30 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min

#### 6.1.4.IS X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 1 (HL1), diseñado para una densidad teórica de 1700 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 90 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 31 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Ke, Ke por análisis de imágenes y por Ultrasonidos, para cada tiempo de vibrado. La Figura 32 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Navarrete-Lopez y Solak, para cada tiempo de vibrado.

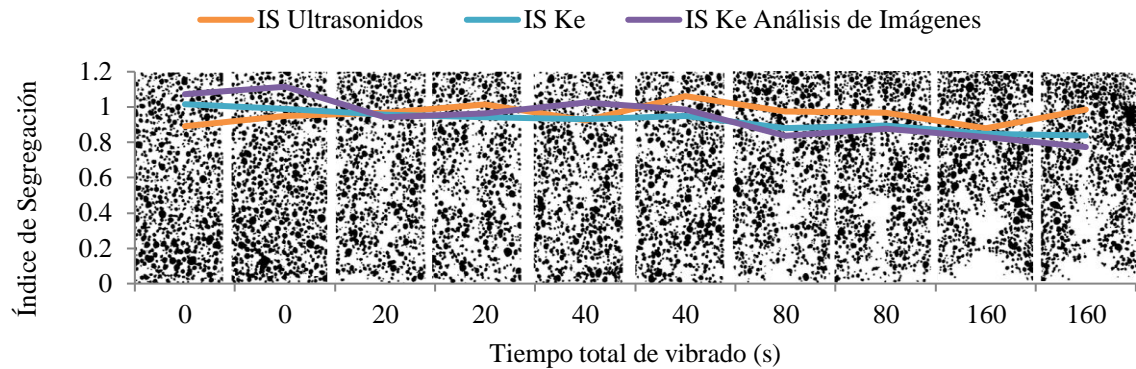


Figura 31 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 90 min

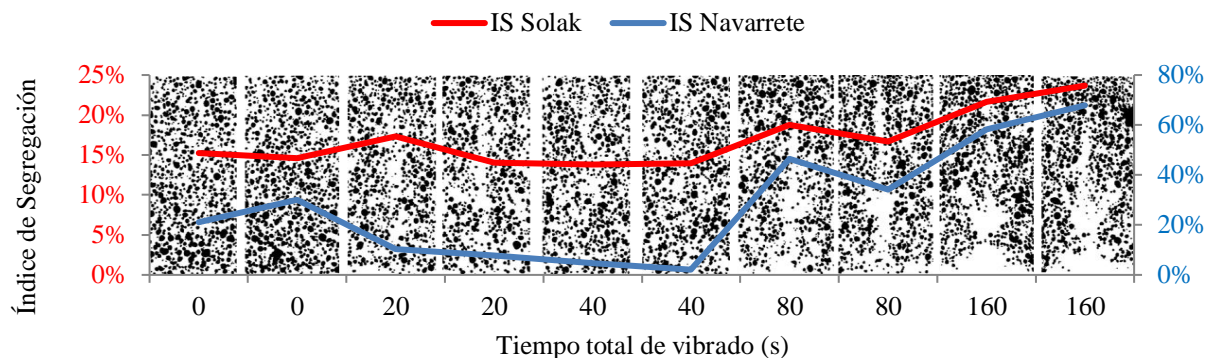


Figura 32 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min

#### 6.1.5.IS X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 2 (HL2), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 33 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Ke, Ke por análisis de imágenes y por Ultrasonidos, para cada tiempo de vibrado. La Figura 34 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Navarrete-Lopez y Solak, para cada tiempo de vibrado.



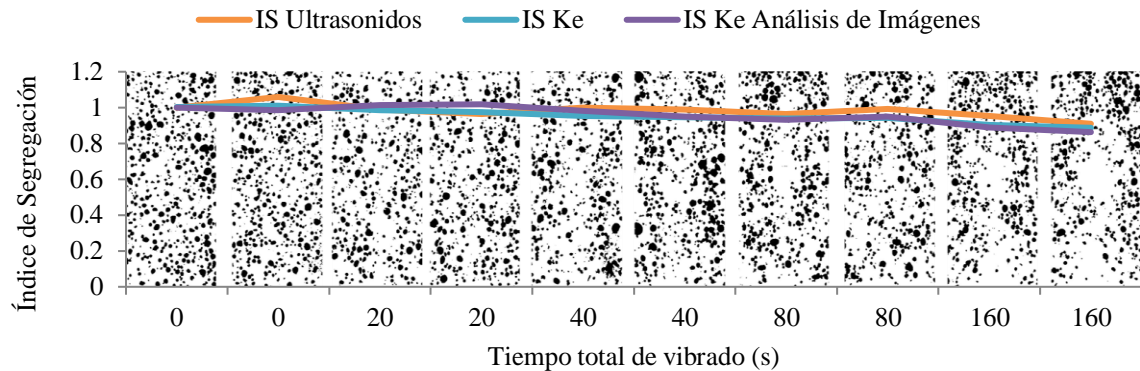


Figura 33 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 15 min

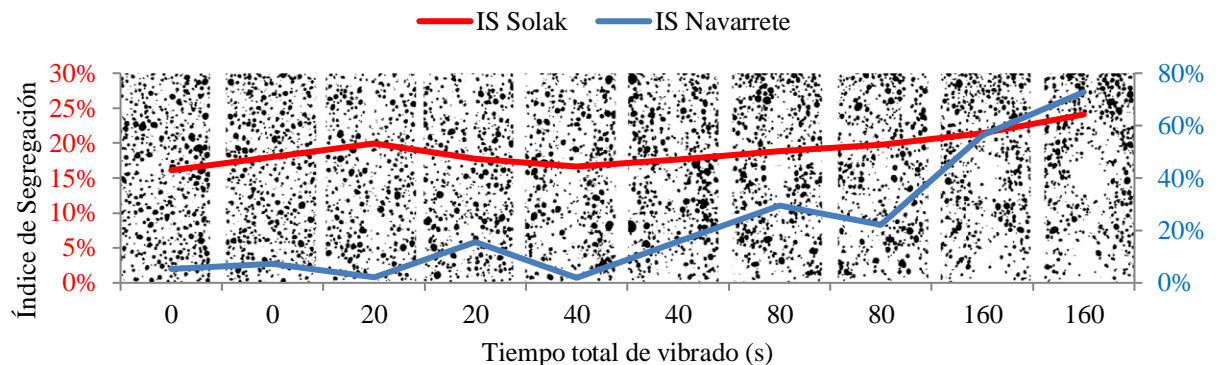


Figura 34 -Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 15 min

#### 6.1.6.IS X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 2 (HL2), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 30 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 35 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Ke, Ke por análisis de imágenes y por Ultrasonidos, para cada tiempo de vibrado. La Figura 36 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Navarrete-Lopez y Solak, para cada tiempo de vibrado.

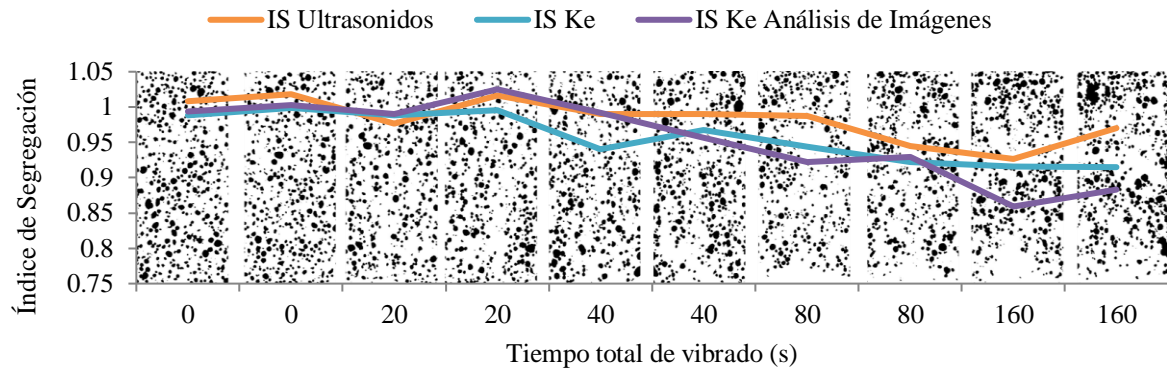


Figura 35 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 30 min

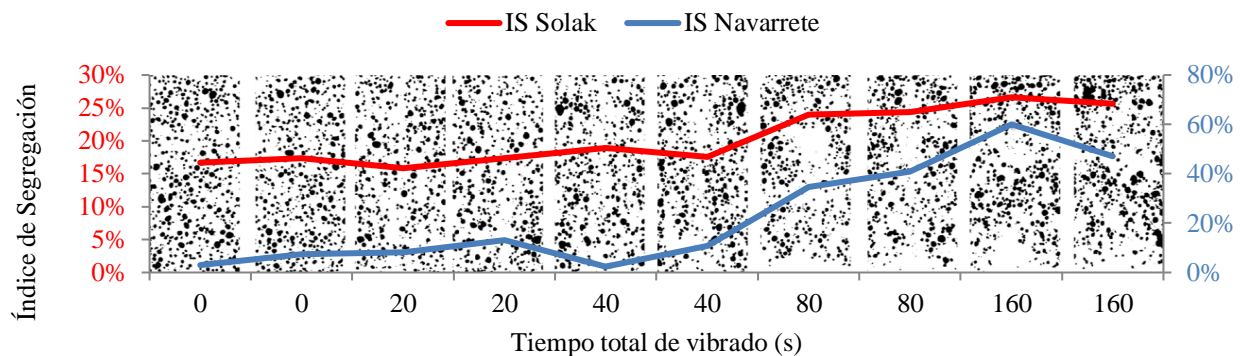


Figura 36 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 30 min

#### 6.1.7.IS X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 2 (HL2), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 60 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 37 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Ke, Ke por análisis de imágenes y por Ultrasonidos, para cada tiempo de vibrado. La Figura 38 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Navarrete-Lopez y Solak, para cada tiempo de vibrado.

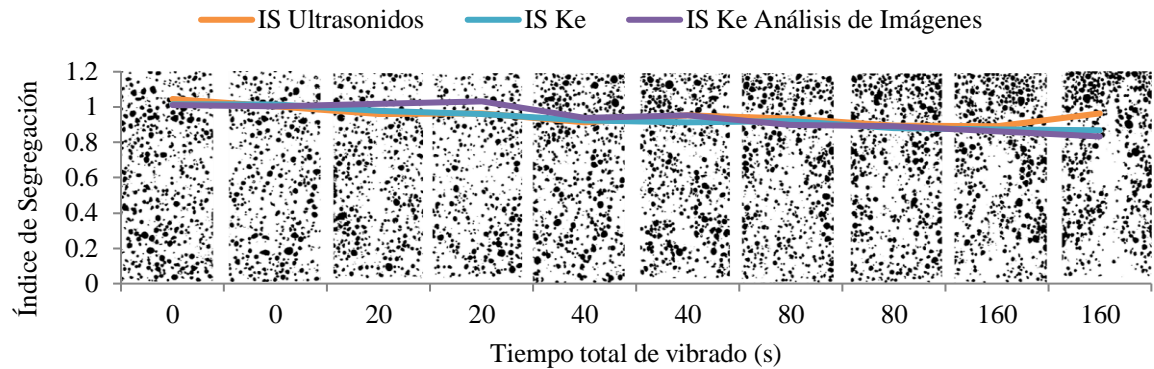


Figura 37 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 60 min

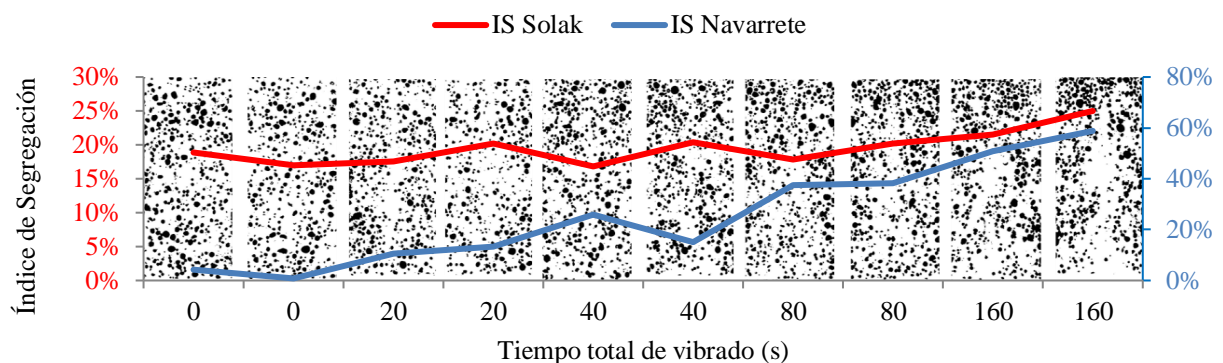
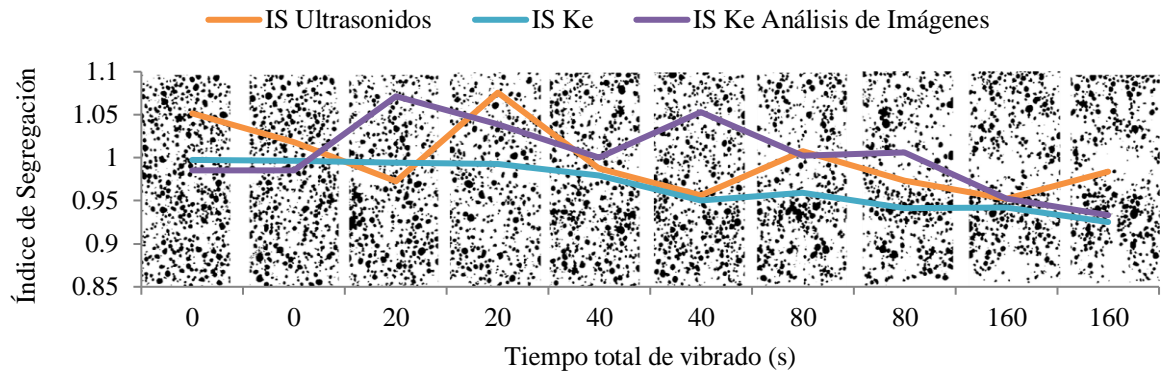


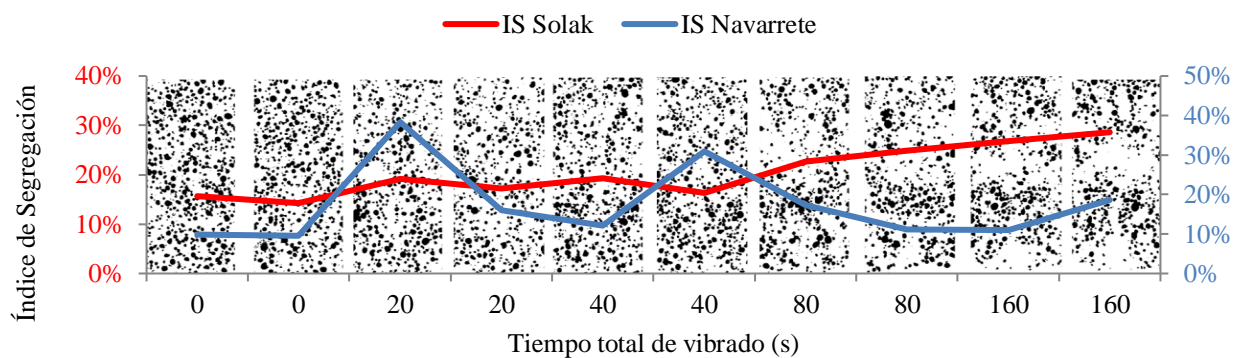
Figura 38 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 60 min

#### 6.1.8.IS X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 2 (HL2), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 90 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 39 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Ke, Ke por análisis de imágenes y por Ultrasonidos, para cada tiempo de vibrado. La Figura 40 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Navarrete-Lopez y Solak, para cada tiempo de vibrado.



**Figura 39 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 90 min**



**Figura 40 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 90 min**

#### 6.1.9.IS X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 3 (HL3), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. Figura 41 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Ke, Ke por análisis de imágenes y por Ultrasonidos, para cada tiempo de vibrado. La Figura 42 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Navarrete-Lopez y Solak, para cada tiempo de vibrado.



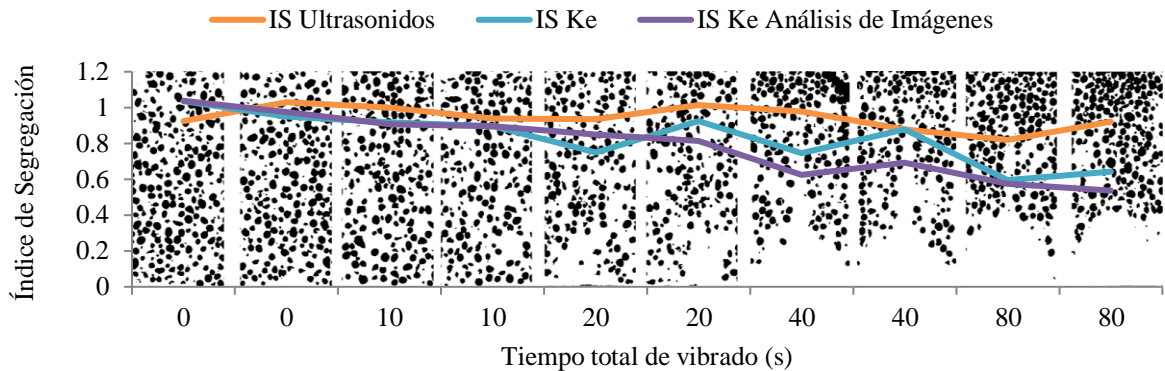


Figura 41 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 15 min

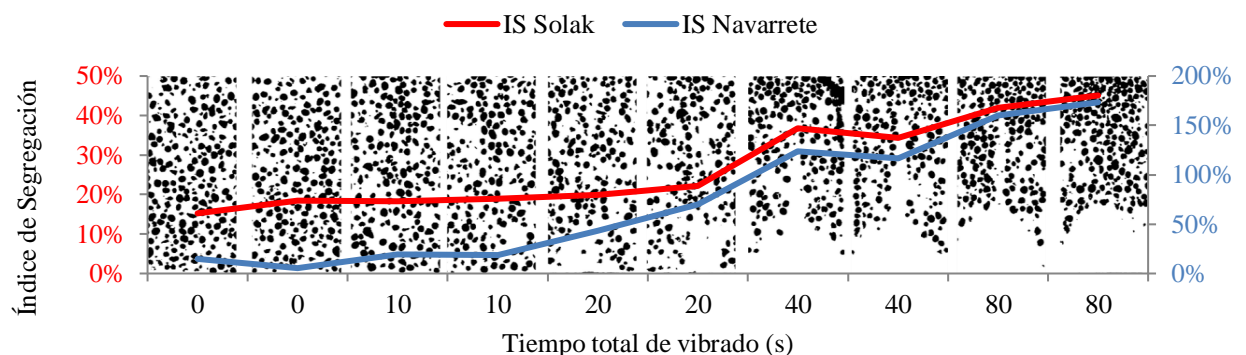


Figura 42 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 15 min

#### 6.1.10. IS X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 3 (HL3), diseñado para una densidad teórica de 1700 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 30 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 43 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Ke, Ke por análisis de imágenes y por Ultrasonidos, para cada tiempo de vibrado. La Figura 44 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Navarrete-Lopez y Solak, para cada tiempo de vibrado.

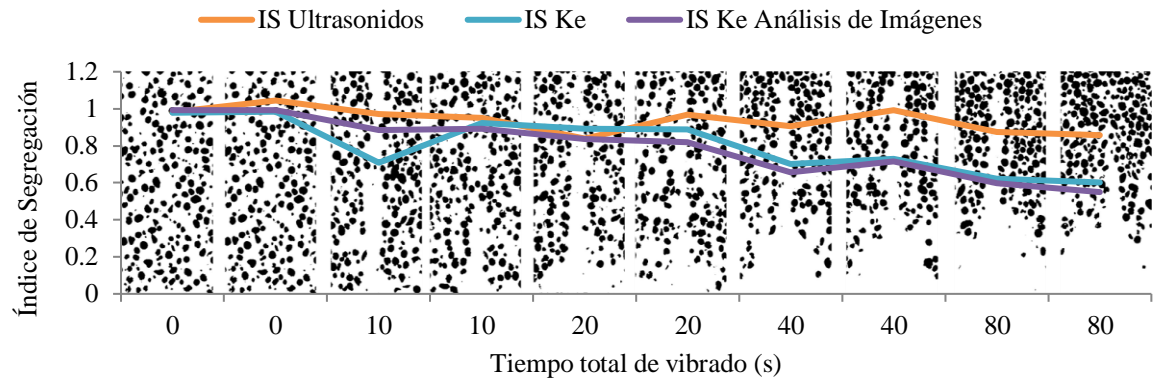


Figura 43 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 30 min

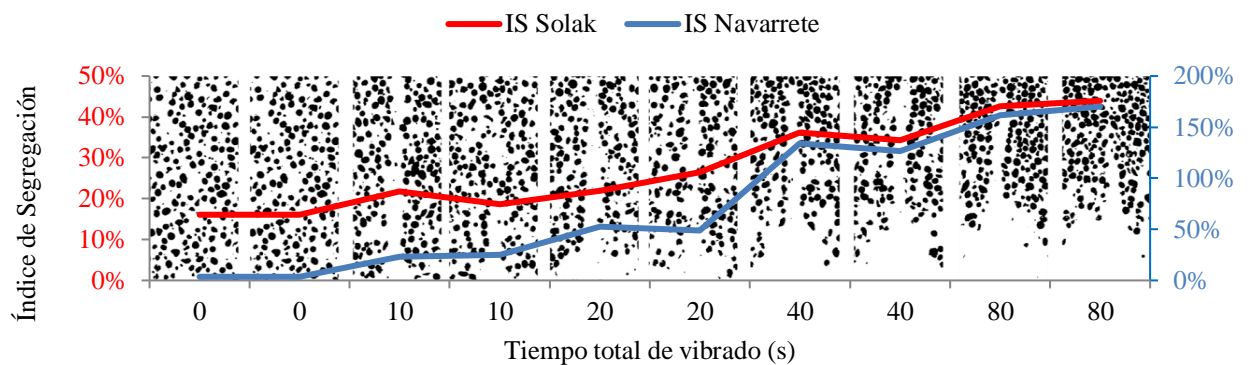


Figura 44 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 30 min

#### 6.1.11. IS X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 3 (HL3), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 60 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 45 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Ke, Ke por análisis de imágenes y por Ultrasonidos, para cada tiempo de vibrado. La Figura 46 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Navarrete-Lopez y Solak, para cada tiempo de vibrado.

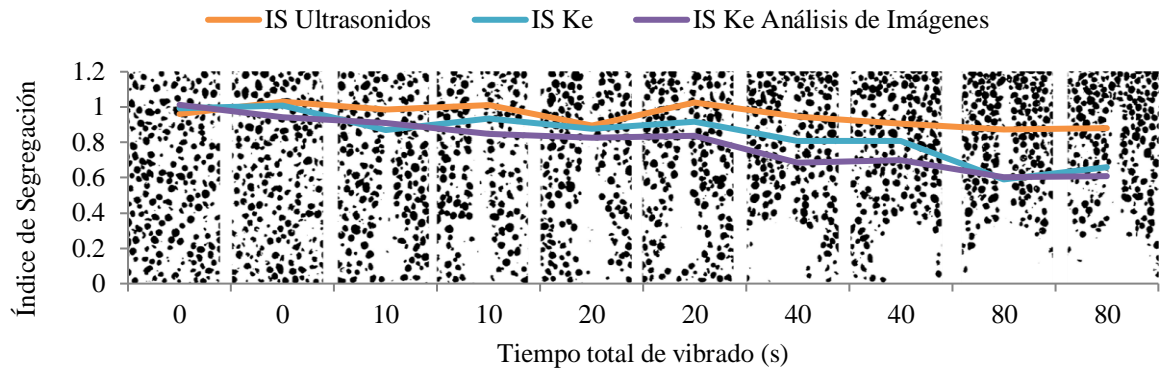


Figura 45 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 60 min

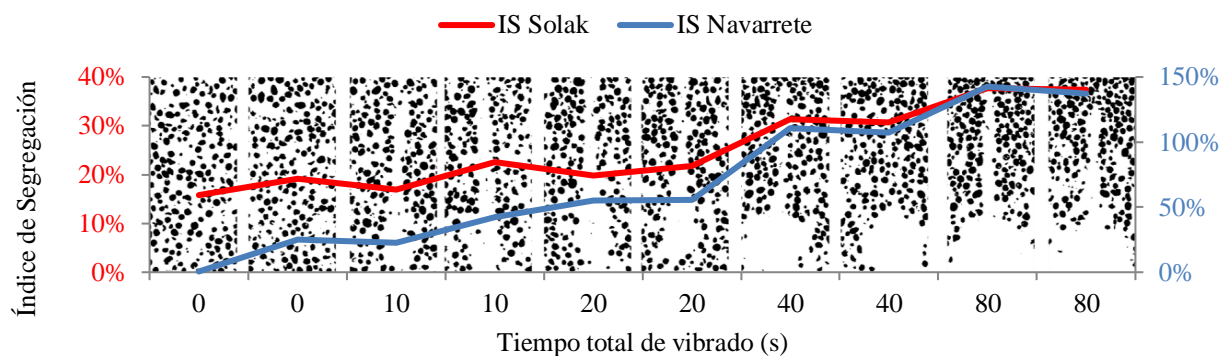


Figura 46 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 60 min

#### 6.1.12. IS X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 3 (HL3), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 90 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 47 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Ke, Ke por análisis de imágenes y por Ultrasonidos, para cada tiempo de vibrado. La Figura 48 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Navarrete-Lopez y Solak, para cada tiempo de vibrado.

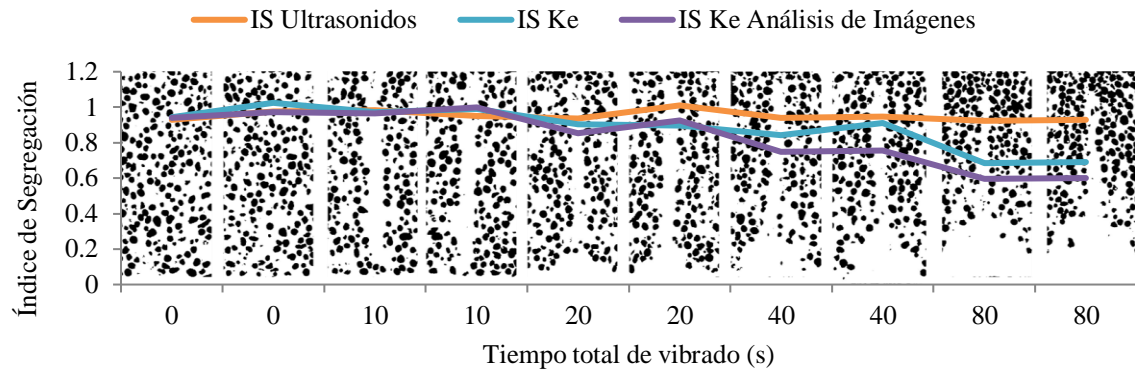


Figura 47 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 90 min

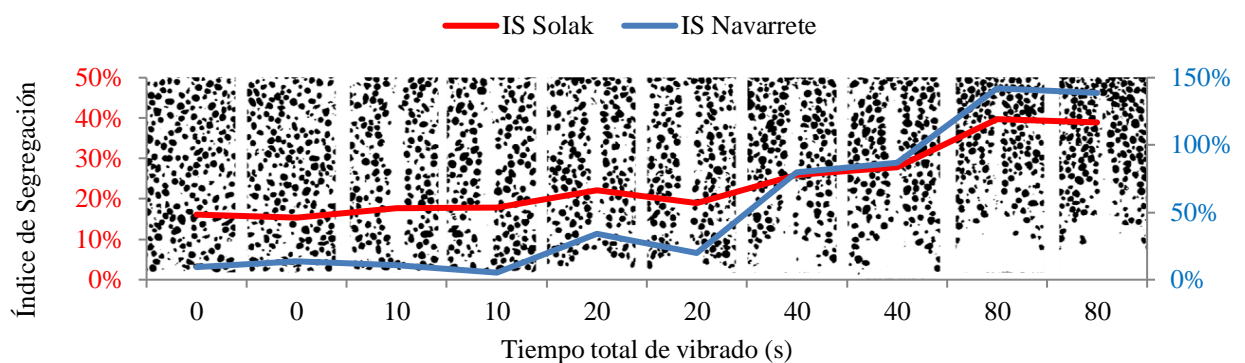


Figura 48 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 90 min

#### 6.1.13. IS X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 4 (HL4), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 49 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Ke, Ke por análisis de imágenes y por Ultrasonidos, para cada tiempo de vibrado. La Figura 50 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Navarrete-Lopez y Solak, para cada tiempo de vibrado.



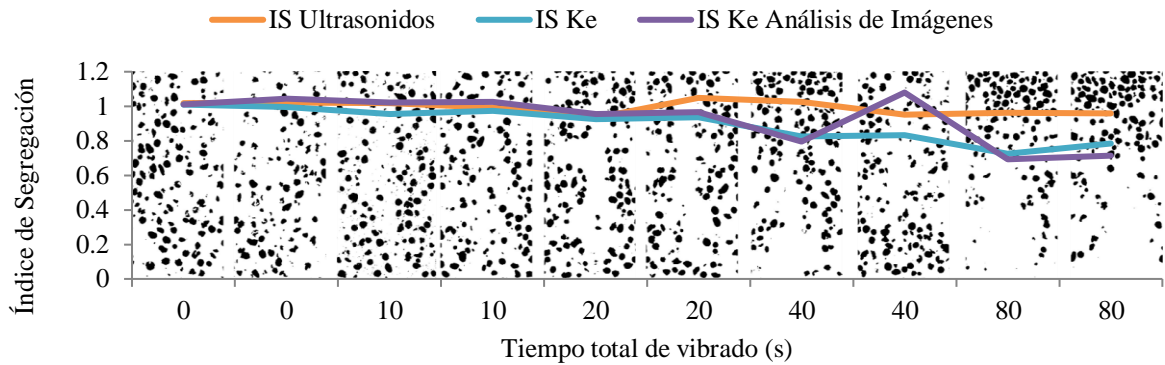


Figura 49 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 15 min

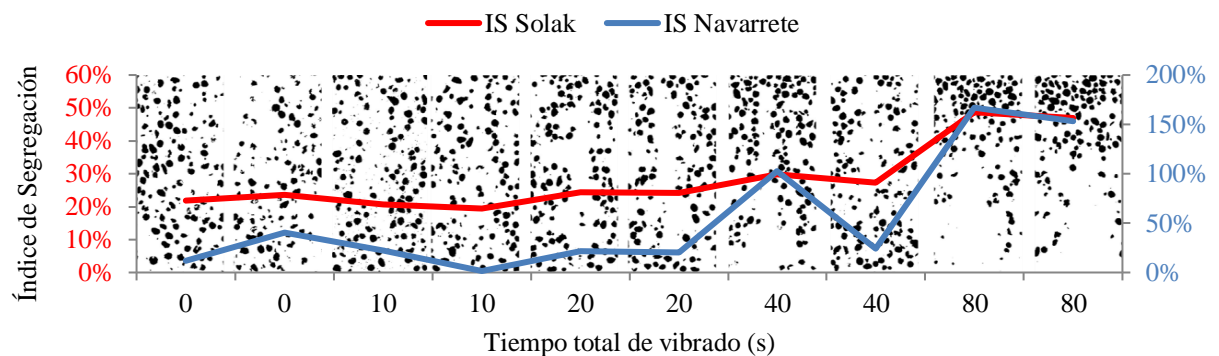


Figura 50 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 15 min

#### 6.1.14. IS X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 4 (HL4), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 30 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 51 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Ke, Ke por análisis de imágenes y por Ultrasonidos, para cada tiempo de vibrado. La Figura 52 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Navarrete-Lopez y Solak, para cada tiempo de vibrado.

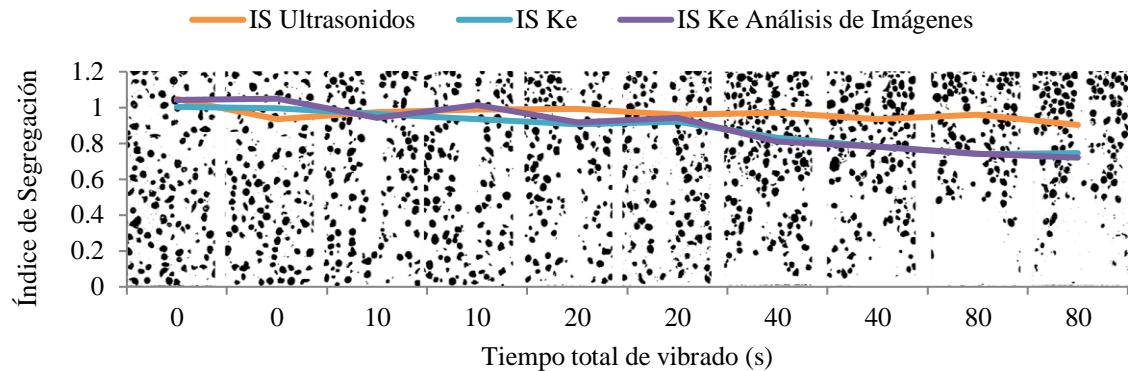


Figura 51 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 30 min

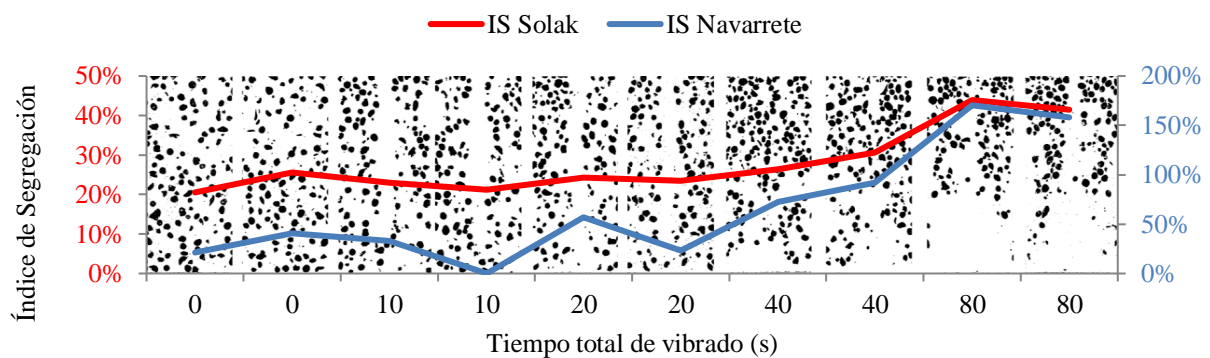


Figura 52 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 30 min

#### 6.1.15. IS X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 4 (HL4), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 60 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 53 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Ke, Ke por análisis de imágenes y por Ultrasonidos, para cada tiempo de vibrado. La Figura 54 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Navarrete-Lopez y Solak, para cada tiempo de vibrado.

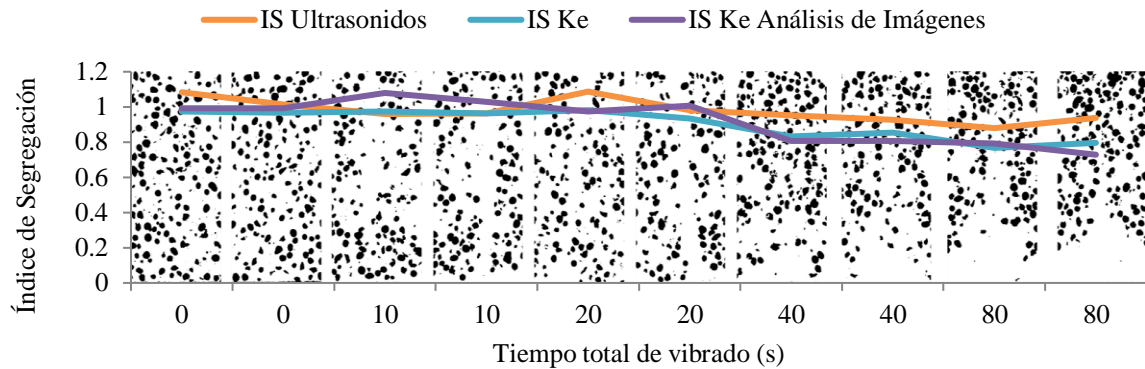


Figura 53 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 60 min

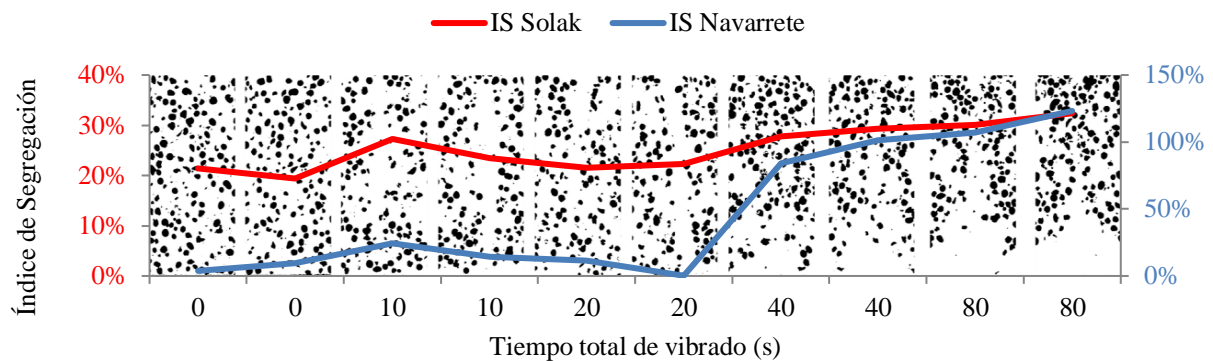


Figura 54 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 60 min

#### 6.1.16. IS X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 4 (HL4), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 90 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 55 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Ke, Ke por análisis de imágenes y por Ultrasonidos, para cada tiempo de vibrado. La Figura 57 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Navarrete-Lopez y Solak, para cada tiempo de vibrado.



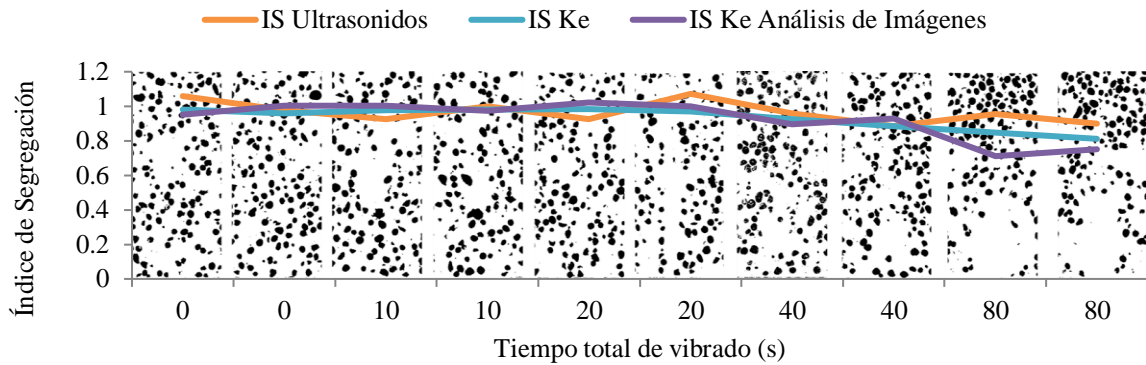


Figura 55 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 90 min

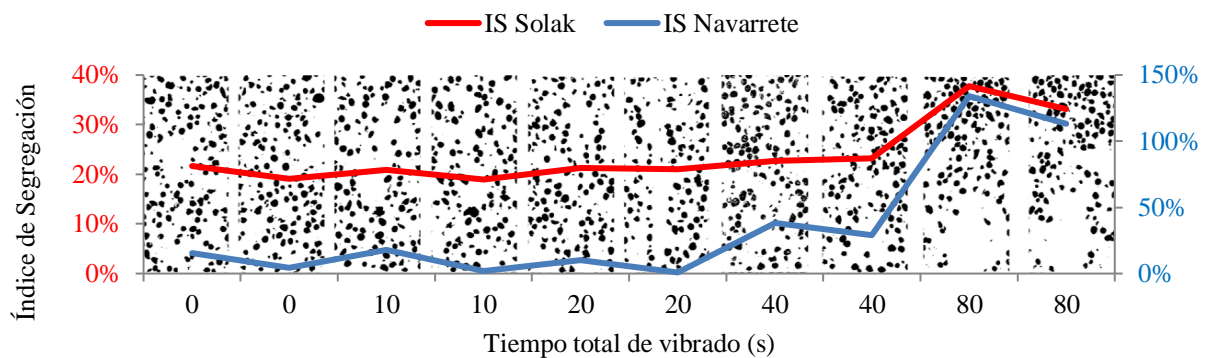


Figura 56 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 90 min

#### 6.1.17. IS X TV - HORMIGÓN 5 (HL5), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 5 (HL5), diseñado para una densidad teórica de 1700 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 57 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Ke, Ke por análisis de imágenes y por Ultrasonidos, para cada tiempo de vibrado. Figura 58 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Navarrete-Lopez y Solak, para cada tiempo de vibrado.

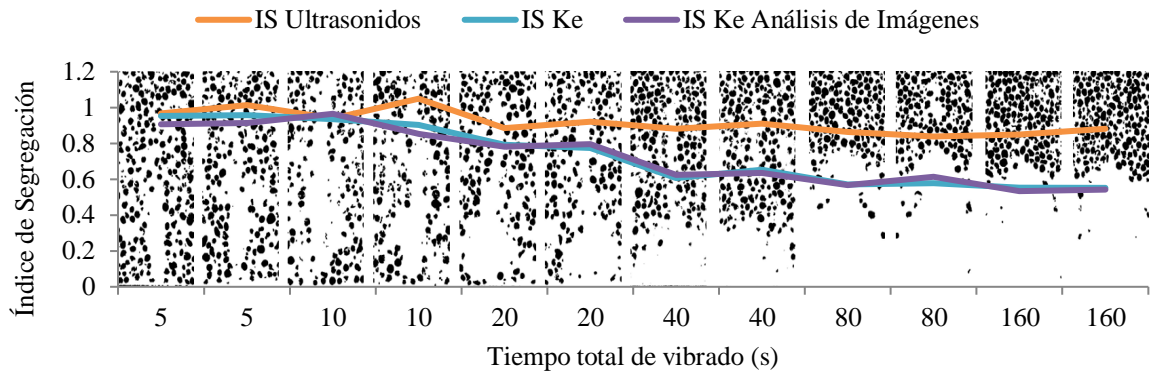


Figura 57 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 5 (HL5), tiempo de fabricación de 15 min

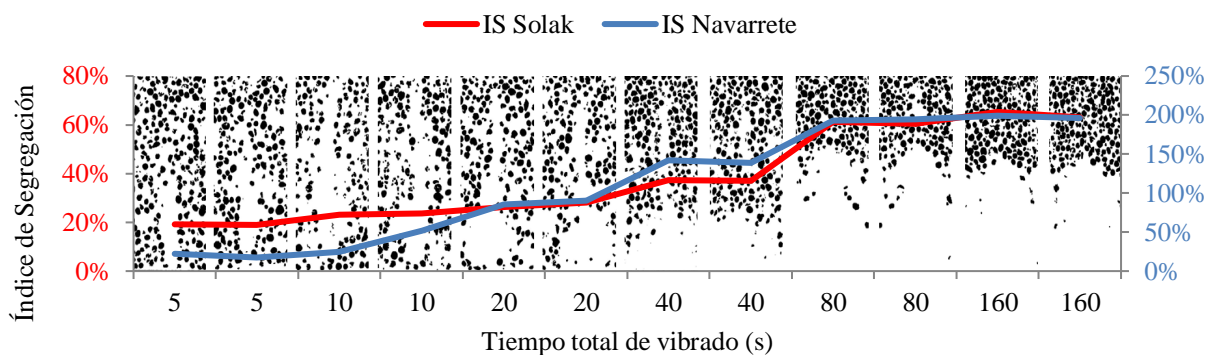


Figura 58 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 5 (HL5), tiempo de fabricación de 15 min

#### 6.1.18. IS X TV - HORMIGÓN 6 (HL6), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 6 (HL6), diseñado para una densidad teórica de 1700 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Laterlite LTM. La Figura 59 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Ke, Ke por análisis de imágenes y por Ultrasonidos, para cada tiempo de vibrado. La Figura 60 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Navarrete-Lopez y Solak, para cada tiempo de vibrado.

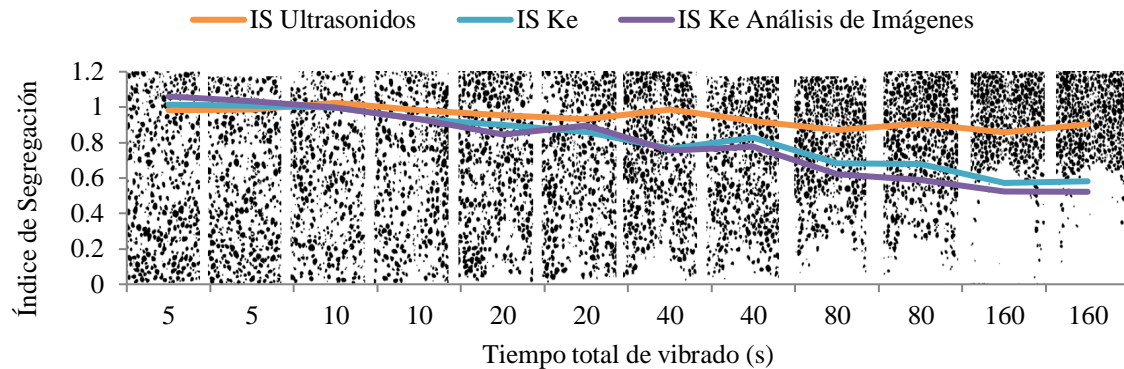


Figura 59 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 6 (HL6), tiempo de fabricación de 15 min

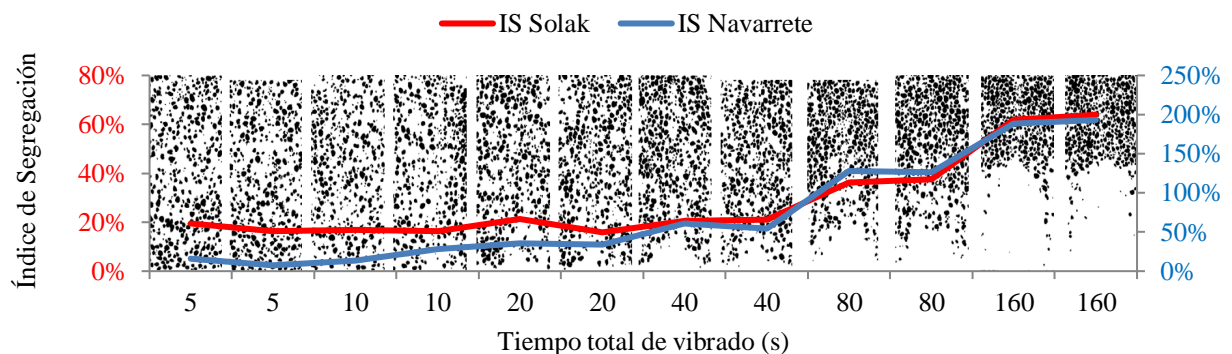


Figura 60 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 6 (HL6), tiempo de fabricación de 15 min

#### 6.1.19. IS X TV - HORMIGÓN 7 (HL7), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 7 (HL7), diseñado para una densidad teórica de 1700 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 61 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 7 (HL7), tiempo de fabricación de 15 min. La Figura 61 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Ke, Ke por análisis de imágenes y por Ultrasonidos, para cada tiempo de vibrado. La Figura 62 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Navarrete-Lopez y Solak, para cada tiempo de vibrado.

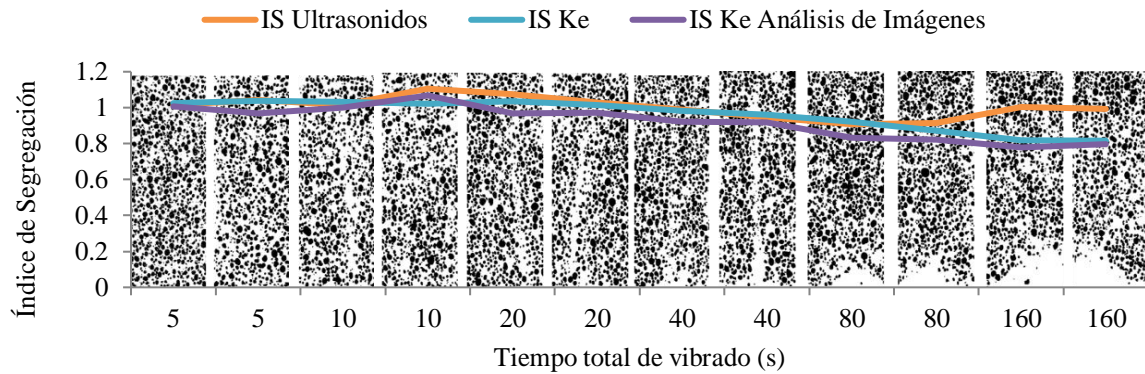


Figura 61 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 7 (HL7), tiempo de fabricación de 15 min

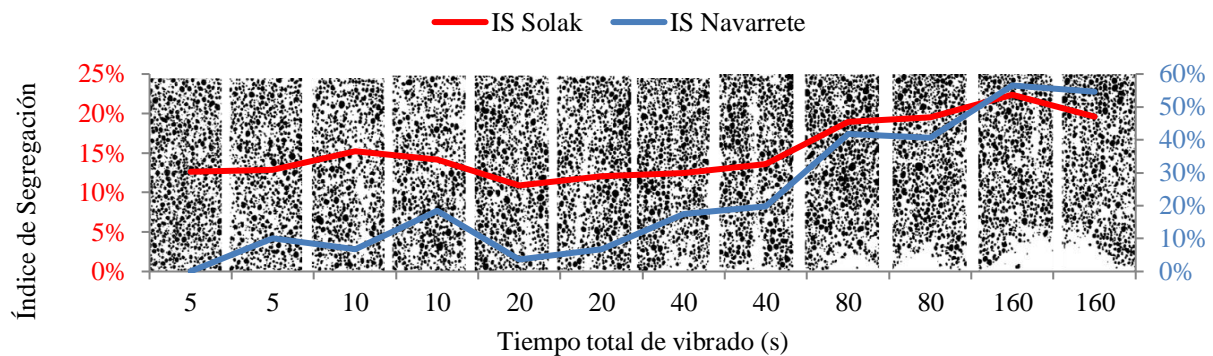


Figura 62 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 7 (HL7), tiempo de fabricación de 15 min

#### 6.1.20. IS X TV - HORMIGÓN 8 (HL8), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 8 (HL8), diseñado para una densidad teórica de 1700 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Laterlite LTHS. La Figura 63 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Ke, Ke por análisis de imágenes y por Ultrasonidos, para cada tiempo de vibrado. La Figura 64 representa la variación de la segregación, estimada con los índices de Navarrete-Lopez y Solak, para cada tiempo de vibrado.



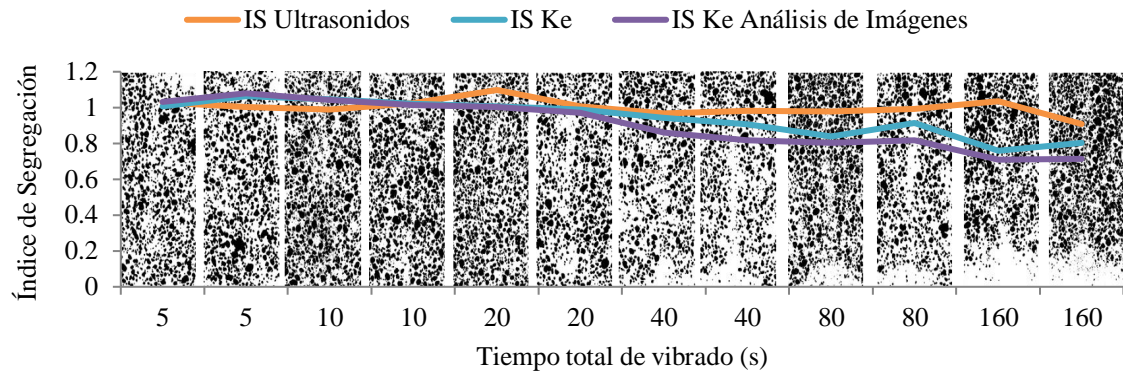


Figura 63 - Variación del Índice de segregación (Ultrasonidos, Ke, Ke AI) según los tiempos de vibrado para el hormigón 8 (HL8), tiempo de fabricación de 15 min

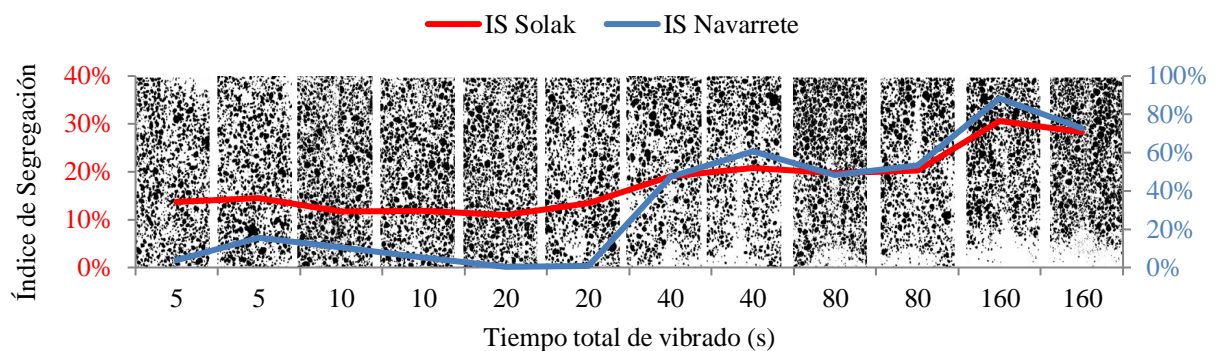


Figura 64 - Variación del Índice de segregación (Solak y Navarrete-Lopez) según los tiempos de vibrado para el hormigón 8 (HL8), tiempo de fabricación de 15 min

## 6.2. COMENTARIOS SOBRE LOS RESULTADOS DEL APARTADO 6.1

Como se observa en las 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 52, 54, 56, 58, 60 y 62, los índices ISUltrasonidos, ISKE y IS KE AI presentan el mismo comportamiento: decrecen a medida que aumenta el tiempo de vibración. El IS<sub>Ultrasonidos</sub> (línea color naranja) presenta valores ligeramente superiores a los valores registrados con los métodos de Ke y Ke por análisis de imágenes. La diferencia se ve más pronunciada en los hormigones vibrados en una capa (HL3, HL4, HL5, HL6, HL7 Y HL8), principalmente en tiempos de vibrados mayores.

La precisión del método por análisis de imágenes depende de una serie de factores relacionados a la manera como los datos son captados y tratados. En la captación de los datos, es decir, durante el fotografiado de las secciones, la buena calidad de las imágenes, de la luz y principalmente la buena distinción entre la matriz de mortero y los áridos gruesos son parámetros que deben ser llevados en consideración. Durante las etapas de tratamiento de las imágenes, las sombras, los vacíos y ruidos dificultan la clasificación de cada pixel entre “árido” o “mortero”. En este punto, una pequeña parte de los datos inevitablemente acaba perdiéndose y eso se refleja como la diferencia entre los métodos de Ke y Ke por análisis de imágenes.



Los resultados de los índices de segregación de  $K_e$  y  $K_e$  por análisis de imágenes presentaran valores similares, coherentes con los resultados presentados en el Apartado 5.1.2 y en los tiempos de vibrado menores, existe una pequeña diferencia entre ellos. A tiempos de vibrado menores, es decir, en situaciones donde existe una mayor homogeneidad en el interior de la probeta, tanto la zona superior como la zona inferior, que son sometidas al mismo tratamiento de imagen, son cuantificadas con la misma precisión y sometidas a errores similares. Como el índice de segregación es la relación entre los valores obtenidos de las dos secciones, con poco tiempo de vibración los errores afectan poco en el resultado final. Pero, sin embargo, a medida que el tiempo de vibrado aumenta, la diferencia entre los métodos se ve más pronunciada. Con el desplazamiento de los áridos a la zona superior, el tratamiento de las imágenes se ve más afectado en esta zona, surgen más dificultades en el momento de identificar lo que es matriz de mortero y lo que es árido ligero. Además, en la zona inferior, la situación es contraria: la matriz de mortero es predominante y la clasificación de cada pixel acaba siendo facilitada.

Los resultados de los índices de segregación de Navarrete-López y Solak son crecientes a medida que aumenta el tiempo de vibrado. Como sus escalas son porcentuales e inversas a las escalas de los métodos por ultrasonidos,  $K_e$  y  $K_e$  por análisis de imágenes, este comportamiento creciente es coherente.

En un primer momento, los resultados del método de Navarrete-López parecen ser superiores a los resultados del método de Solak. Es importante tener en cuenta que, aunque ambos se expresen en porcentuales, son representados en escalas diferentes. El método de Navarrete-López (en azul en los gráficos) varía de 0 a 200%. El método de Solak (en rojo en los gráficos) varía de 0 a 100%.

Se observó que, para todos los métodos, en los hormigones vibrados en dos capas (HL1 y HL2), la pendiente es más suave si comparada a las pendientes de los hormigones vibrados en una capa (HL3, HL4, HL5, HL6, HL7 Y HL8), indicando que el vibrado en dos capas, mismo con tiempos de vibrados superiores, produce menores variaciones en la distribución de los áridos en el interior de la probeta.



### 6.3. RESULTADOS: DENSIDADES REALES SECAS (DRS) VERSUS TIEMPO DE VIBRADO (TV).

Hormigón	Densidad teórica	Tiempo de fabricación	Posición	Tiempo de vibrado total													
				0 s	0 s	5 s	5 s	10 s	10 s	20 s	20 s	40 s	40 s	80 s	80 s	160 s	160 s
HL1	1700 kg/m³	15 min	Densidad Octavo Sup Ext (kg/m³)	1578	1579	-	-	-	-	1583	1571	1543	1537	1533	1513	1475	1491
			Densidad Octavo Sup Int (kg/m³)	1616	1580	-	-	-	-	1587	1557	1546	1549	1551	1544	1558	1545
			Densidad Octavo Inf Int (kg/m³)	1569	1566	-	-	-	-	1589	1574	1579	1583	1595	1604	1553	1575
			Densidad Octavo Inf Ext (kg/m³)	1587	1587	-	-	-	-	1664	1636	1676	1684	1703	1697	1753	1760
			Densidad Mitad (kg/m³)	1538	1517	-	-	-	-	1565	1549	1556	1557	1563	1558	1557	1560
HL2	1700 kg/m³	30 min	Densidad Octavo Sup Ext (kg/m³)	1581	1566	-	-	-	-	1591	1575	1565	1560	1563	1569	1538	1549
			Densidad Octavo Sup Int (kg/m³)	1574	1596	-	-	-	-	1541	1542	1571	1597	1572	1586	1569	1558
			Densidad Octavo Inf Int (kg/m³)	1574	1572	-	-	-	-	1585	1601	1543	1579	1616	1601	1603	1602
			Densidad Octavo Inf Ext (kg/m³)	1603	1600	-	-	-	-	1645	1662	1616	1607	1626	1707	1686	1714
			Densidad Mitad (kg/m³)	1550	1557	-	-	-	-	1560	1566	1548	1559	1557	1576	1569	1579
HL3	1700 kg/m³	60 min	Densidad Octavo Sup Ext (kg/m³)	1576	1564	-	-	-	-	1600	1601	1595	1578	1594	1598	1527	1537
			Densidad Octavo Sup Int (kg/m³)	1590	1612	-	-	-	-	1641	1609	1639	1621	1635	1620	1644	1578
			Densidad Octavo Inf Int (kg/m³)	1606	1598	-	-	-	-	1635	1597	1577	1605	1675	1619	1623	1626
			Densidad Octavo Inf Ext (kg/m³)	1590	1613	-	-	-	-	1671	1664	1693	1721	1782	1748	1797	1790
			Densidad Mitad (kg/m³)	1563	1574	-	-	-	-	1609	1587	1596	1599	1640	1611	1621	1605
HL4	1700 kg/m³	90 min	Densidad Octavo Sup Ext (kg/m³)	1648	1618	-	-	-	-	1609	1626	1602	1597	1568	1586	1558	1532
			Densidad Octavo Sup Int (kg/m³)	1629	1624	-	-	-	-	1602	1687	1615	1592	1634	1572	1547	1618
			Densidad Octavo Inf Int (kg/m³)	1599	1613	-	-	-	-	1637	1631	1664	1657	1667	1683	1680	1700
			Densidad Octavo Inf Ext (kg/m³)	1621	1633	-	-	-	-	1685	1726	1719	1680	1782	1774	1840	1827
			Densidad Mitad (kg/m³)	1593	1589	-	-	-	-	1607	1642	1619	1606	1644	1632	1629	1636
HL2	1900 kg/m³	15 min	Densidad Octavo Sup Ext (kg/m³)	1810	1821	-	-	-	-	1812	1806	1808	1803	1801	1802	1794	1744
			Densidad Octavo Sup Int (kg/m³)	1816	1796	-	-	-	-	1832	1812	1816	1832	1819	1823	1823	1830
			Densidad Octavo Inf Int (kg/m³)	1824	1831	-	-	-	-	1805	1801	1845	1860	1843	1846	1875	1911
			Densidad Octavo Inf Ext (kg/m³)	1807	1802	-	-	-	-	1841	1852	1899	1909	1922	1914	1983	1965
			Densidad Mitad (kg/m³)	1805	1801	-	-	-	-	1819	1813	1830	1839	1841	1831	1865	1861
HL3	1900 kg/m³	30 min	Densidad Octavo Sup Ext (kg/m³)	1820	1826	-	-	-	-	1823	1845	1776	1815	1839	1808	1804	1805
			Densidad Octavo Sup Int (kg/m³)	1810	1816	-	-	-	-	1829	1844	1812	1804	1845	1849	1895	1912
			Densidad Octavo Inf Int (kg/m³)	1830	1807	-	-	-	-	1808	1853	1848	1831	1884	1856	1791	1822
			Densidad Octavo Inf Ext (kg/m³)	1842	1828	-	-	-	-	1845	1854	1890	1877	1949	1960	1970	1973
			Densidad Mitad (kg/m³)	1821	1810	-	-	-	-	1833	1848	1838	1829	1861	1860	1859	1867
HL4	1900 kg/m³	60 min	Densidad Octavo Sup Ext (kg/m³)	1839	1835	-	-	-	-	1812	1767	1726	1725	1738	1668	1692	1707
			Densidad Octavo Sup Int (kg/m³)	1801	1828	-	-	-	-	1838	1816	1809	1854	1856	1819	1810	1837
			Densidad Octavo Inf Int (kg/m³)	1830	1862	-	-	-	-	1859	1834	1869	1867	1881	1856	1841	1865
			Densidad Octavo Inf Ext (kg/m³)	1810	1810	-	-	-	-	1855	1842	1866	1887	1884	1893	1937	1966





**El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros.  
Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.**



			Densidad Mitad (kg/m <sup>3</sup> )	1801	1817	-	-	-	-	1843	1816	1827	1818	1837	1816	1830	1837
HL5	1900 kg/m <sup>3</sup>	90 min	Densidad Octavo Sup Ext (kg/m <sup>3</sup> )	1812	1807	-	-	-	-	1819	1815	1796	1766	1830	1781	1830	1806
			Densidad Octavo Sup Int (kg/m <sup>3</sup> )	1818	1802	-	-	-	-	1837	1883	1818	1845	1888	1816	1902	1895
			Densidad Octavo Inf Int (kg/m <sup>3</sup> )	1804	1822	-	-	-	-	1840	1817	1812	1770	1816	1779	1727	1729
			Densidad Octavo Inf Ext (kg/m <sup>3</sup> )	1816	1814	-	-	-	-	1829	1828	1833	1858	1907	1892	1942	1951
			Densidad Mitad (kg/m <sup>3</sup> )	1806	1817	-	-	-	-	1830	1841	1823	1819	1862	1826	1861	1842
			Densidad Octavo Sup Ext (kg/m <sup>3</sup> )	1482	1440	-	-	1473	1483	1287	1502	1398	1645	1181	1264	-	-
HL3	1700 kg/m <sup>3</sup>	15 min	Densidad Octavo Sup Int (kg/m <sup>3</sup> )	1404	1447	-	-	1565	1502	1483	1573	1501	1507	1474	1451	-	-
			Densidad Octavo Inf Int (kg/m <sup>3</sup> )	1376	1453	-	-	1572	1544	1534	1588	1552	1605	1604	1592	-	-
			Densidad Octavo Inf Ext (kg/m <sup>3</sup> )	1431	1513	-	-	1609	1658	1714	1622	1878	1875	1984	1963	-	-
			Densidad Mitad (kg/m <sup>3</sup> )	1443	1482	-	-	1581	1562	1567	1587	1595	1610	1521	1594	-	-
			Densidad Octavo Sup Ext (kg/m <sup>3</sup> )	1519	1508	-	-	1444	1459	1465	1428	1329	1366	1230	1189	-	-
HL4	1700 kg/m <sup>3</sup>	30 min	Densidad Octavo Sup Int (kg/m <sup>3</sup> )	1502	1470	-	-	1452	1488	1503	1506	1807	1479	1334	1379	-	-
			Densidad Octavo Inf Int (kg/m <sup>3</sup> )	1518	1480	-	-	1535	1479	1507	1513	1606	1594	1563	1585	-	-
			Densidad Octavo Inf Ext (kg/m <sup>3</sup> )	1553	1532	-	-	2040	1582	1645	1608	1890	1871	1982	1976	-	-
			Densidad Mitad (kg/m <sup>3</sup> )	1540	1516	-	-	1507	1530	1539	1540	1601	1587	1555	1558	-	-
			Densidad Octavo Sup Ext (kg/m <sup>3</sup> )	1482	1514	-	-	1464	1455	1418	1442	1373	1372	1110	1231	-	-
HL5	1700 kg/m <sup>3</sup>	60 min	Densidad Octavo Sup Int (kg/m <sup>3</sup> )	1486	1512	-	-	1501	1506	1485	1521	1533	1482	1369	1398	-	-
			Densidad Octavo Inf Int (kg/m <sup>3</sup> )	1492	1503	-	-	1591	1530	1523	1571	1559	1556	1572	1601	-	-
			Densidad Octavo Inf Ext (kg/m <sup>3</sup> )	1493	1502	-	-	1683	1558	1619	1573	1703	1697	1880	1864	-	-
			Densidad Mitad (kg/m <sup>3</sup> )	1507	1521	-	-	1568	1526	1515	1522	1545	1541	1542	1536	-	-
			Densidad Octavo Sup Ext (kg/m <sup>3</sup> )	1424	1524	-	-	1471	1511	1439	1453	1438	1391	1275	1315	-	-
HL6	1700 kg/m <sup>3</sup>	90 min	Densidad Octavo Sup Int (kg/m <sup>3</sup> )	1458	1484	-	-	1498	1612	1503	1515	1482	1478	1419	1418	-	-
			Densidad Octavo Inf Int (kg/m <sup>3</sup> )	1511	1547	-	-	1536	1604	1502	1530	1511	1551	1592	1539	-	-
			Densidad Octavo Inf Ext (kg/m <sup>3</sup> )	1509	1487	-	-	1515	1526	1593	1622	1705	1530	1862	1902	-	-
			Densidad Mitad (kg/m <sup>3</sup> )	1622	1402	-	-	1520	1585	1519	1545	1514	1635	1574	1568	-	-
			Densidad Octavo Sup Ext (kg/m <sup>3</sup> )	1876	1834	-	-	1815	1817	1749	1759	1695	1711	1567	1620	-	-
HL4	1900 kg/m <sup>3</sup>	15 min	Densidad Octavo Sup Int (kg/m <sup>3</sup> )	1853	1867	-	-	1862	1858	1866	1899	1865	1847	1915	1910	-	-
			Densidad Octavo Inf Int (kg/m <sup>3</sup> )	1849	1863	-	-	1873	1875	1891	1910	1955	1930	2049	2008	-	-
			Densidad Octavo Inf Ext (kg/m <sup>3</sup> )	1858	1845	-	-	1902	1864	1891	1880	2051	2055	2161	2065	-	-
			Densidad Mitad (kg/m <sup>3</sup> )	1788	1774	-	-	1787	1779	1777	1798	1815	1808	1846	1822	-	-
			Densidad Octavo Sup Ext (kg/m <sup>3</sup> )	1867	1847	-	-	1794	1790	1750	1790	1677	1612	1617	1608	-	-
HL5	1900 kg/m <sup>3</sup>	30 min	Densidad Octavo Sup Int (kg/m <sup>3</sup> )	1860	1839	-	-	1849	1864	1874	1852	1802	1806	1898	1866	-	-
			Densidad Octavo Inf Int (kg/m <sup>3</sup> )	1852	1849	-	-	1875	1886	1878	1888	1863	1918	2000	2000	-	-
			Densidad Octavo Inf Ext (kg/m <sup>3</sup> )	1859	1855	-	-	1862	1912	1931	1945	2016	2061	2183	2152	-	-
			Densidad Mitad (kg/m <sup>3</sup> )	1772	1769	-	-	1761	1783	1782	1791	1763	1776	1844	1822	-	-
			Densidad Octavo Sup Ext (kg/m <sup>3</sup> )	1789	1811	-	-	1807	1804	1804	1759	1674	1740	1625	1666	-	-
HL6	1900 kg/m <sup>3</sup>	60 min	Densidad Octavo Sup Int (kg/m <sup>3</sup> )	1809	1817	-	-	1817	1814	1830	1844	1803	1782	1828	1847	-	-



**El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros.  
Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.**



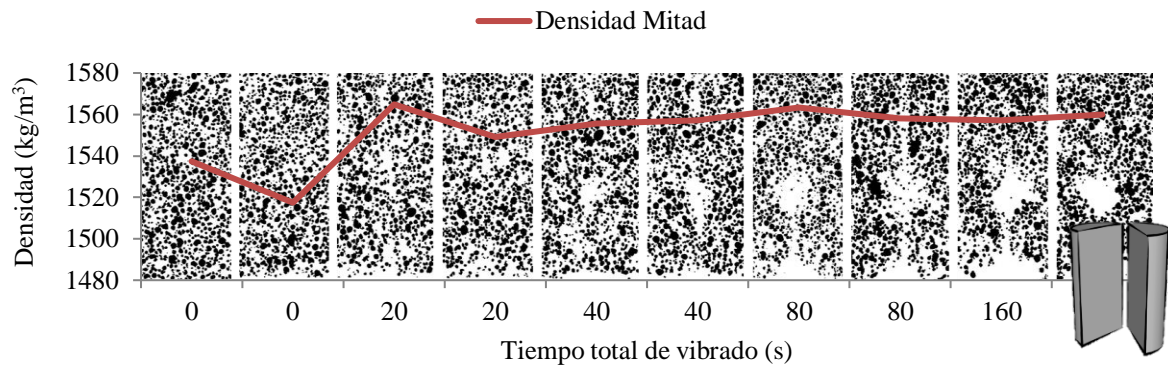
HL7	1900 kg/m <sup>3</sup>	90 min	Densidad Octavo Inf Int (kg/m <sup>3</sup> )	1843	1820	-	-	1825	1831	1842	1861	1850	1884	1914	1917	-	-
			Densidad Octavo Inf Ext (kg/m <sup>3</sup> )	1835	1874	-	-	1857	1875	1837	1880	2015	2041	2117	2092	-	-
			Densidad Mitad (kg/m <sup>3</sup> )	1736	1746	-	-	1753	1751	1749	1761	1761	1786	1783	1796	-	-
			Densidad Octavo Sup Ext (kg/m <sup>3</sup> )	1834	1802	-	-	1831	1846	1854	1851	1804	1758	1705	1663	-	-
			Densidad Octavo Sup Int (kg/m <sup>3</sup> )	1832	1903	-	-	1862	1856	1838	1880	1819	1829	1880	1841	-	-
			Densidad Octavo Inf Int (kg/m <sup>3</sup> )	1834	1848	-	-	1856	1838	1876	1854	1923	1917	1917	1991	-	-
HL5	1700 kg/m <sup>3</sup>	15 min	Densidad Octavo Inf Ext (kg/m <sup>3</sup> )	1868	1878	-	-	1872	1881	1885	1909	1947	1987	2014	2049	-	-
			Densidad Mitad (kg/m <sup>3</sup> )	1755	1769	-	-	1780	1777	1773	1796	1798	1802	1806	1811	-	-
			Densidad Octavo Sup Ext (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1610	1612	1628	1636	1485	1512	1266	1324	1224	1219	1192	1193
			Densidad Octavo Sup Int (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1773	1710	1782	1778	1748	1746	1396	1422	1520	1484	1276	1248
			Densidad Octavo Inf Int (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1699	1757	1827	1912	1883	1898	1625	1569	2077	2062	2052	2044
			Densidad Octavo Inf Ext (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1686	1683	1739	1812	1877	1949	2089	2030	2144	2109	2154	2160
HL6	1700 kg/m <sup>3</sup>	30 min	Densidad Mitad (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1609	1605	1654	1697	1664	1692	1548	1525	1679	1673	1631	1596
			Densidad Octavo Sup Ext (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1666	1712	1741	1634	1564	1515	1477	1547	1401	1360	1217	1248
			Densidad Octavo Sup Int (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1664	1839	1749	1674	1625	1594	1650	1591	1488	1506	1384	1324
			Densidad Octavo Inf Int (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1644	1836	1754	1727	1651	1682	1725	1699	1626	1659	1982	2019
			Densidad Octavo Inf Ext (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1642	1698	1744	1752	1742	1763	1928	1873	2048	2007	2128	2150
			Densidad Mitad (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1586	1687	1667	1615	1575	1563	1620	1603	1592	1585	1630	1642
HL7	1700 kg/m <sup>3</sup>	60 min	Densidad Octavo Sup Ext (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1781	1780	1824	1814	1644	1631	1731	1691	1661	1589	1526	1503
			Densidad Octavo Sup Int (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1895	1829	1845	1847	1608	1607	1698	1683	1678	1664	1652	1605
			Densidad Octavo Inf Int (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1868	1811	1790	1796	1606	1616	1721	1735	1691	1682	1615	1606
			Densidad Octavo Inf Ext (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1741	1714	1766	1778	1587	1608	1760	1757	1806	1821	1862	1842
			Densidad Mitad (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1705	1673	1732	1741	1556	1556	1674	1664	1666	1642	1598	1574
			Densidad Octavo Sup Ext (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1678	1771	1722	1653	1618	1574	1591	1561	1508	1549	1489	1508
HL8	1700 kg/m <sup>3</sup>	90 min	Densidad Octavo Sup Int (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1690	1741	1695	1605	1628	1565	1647	1613	1511	1566	1546	1615
			Densidad Octavo Inf Int (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1670	1683	1647	1636	1613	1578	1648	1669	1631	1610	1652	1696
			Densidad Octavo Inf Ext (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1667	1665	1644	1617	1605	1593	1687	1722	1795	1692	1962	1879
			Densidad Mitad (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1626	1668	1640	1601	1570	1528	1591	1594	1560	1557	1628	1634
			Densidad Octavo Sup Ext (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1678	1771	1722	1653	1618	1574	1591	1561	1508	1549	1489	1508

**Tabla 13 - Resultados: densidades reales secas, medidas experimentalmente, de acuerdo con las propiedades de cada hormigón y el tiempo de vibrado.**

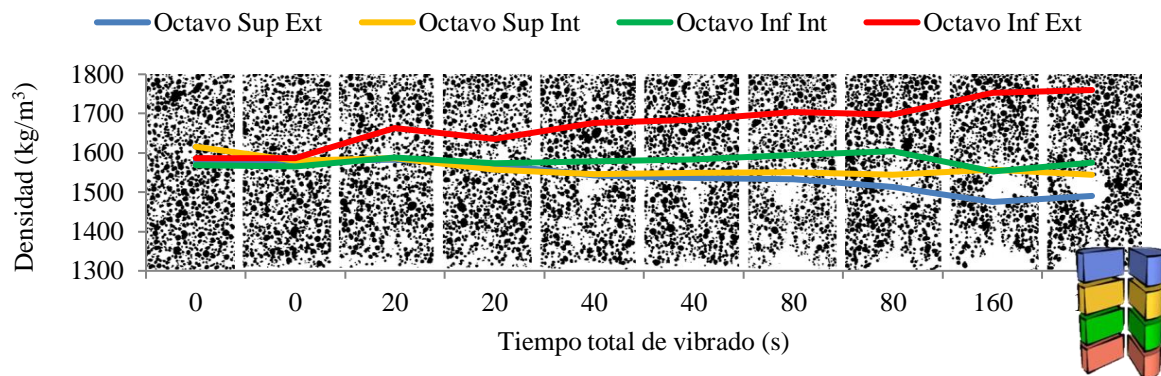


### 6.3.1. DRS X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 1 (HL1), diseñado para una densidad teórica de 1700 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La representa Figura 65 la variación de las densidades secas, medidas experimentalmente en cada mitad de probeta, y la Figura 66 en cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado.



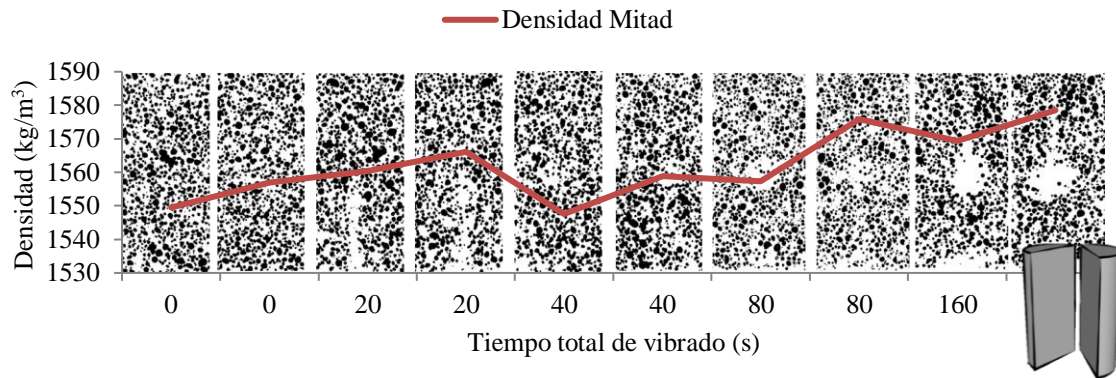
**Figura 65 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 15 min**



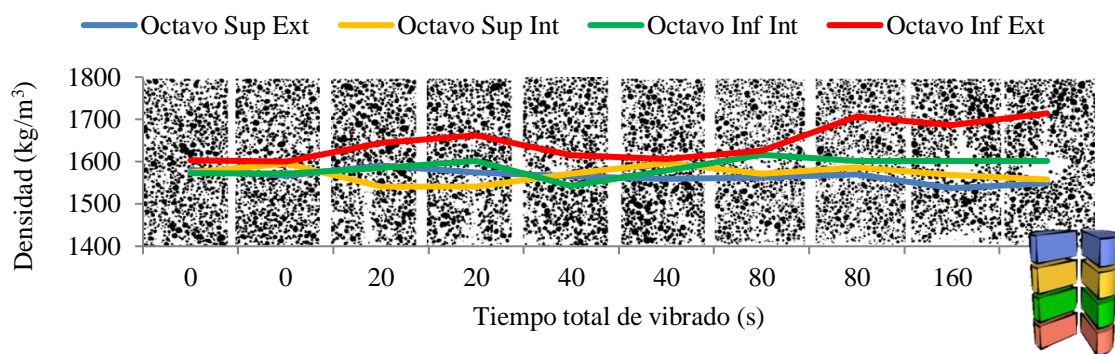
**Figura 66 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 15 min**

### 6.3.2.DRS X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 1 (HL1), diseñado para una densidad teórica de 1700 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 30 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La representa Figura 67 la variación de las densidades secas, medidas experimentalmente en cada mitad de probeta, y la Figura 68 en cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado.



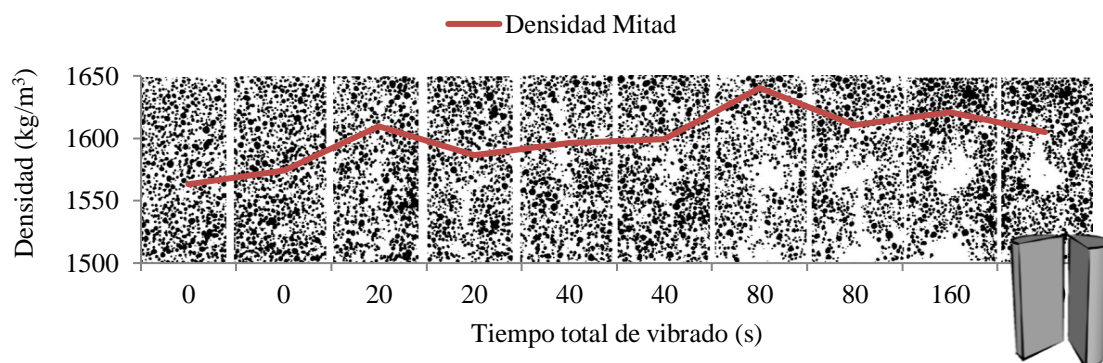
**Figura 67 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 30 min**



**Figura 68 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 30 min**

### 6.3.3.DRS X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 1 (HL1), diseñado para una densidad teórica de 1700 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 60 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La representa Figura 69 la variación de las densidades secas, medidas experimentalmente en cada mitad de probeta, y la Figura 70 en cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado.



**Figura 69 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min**



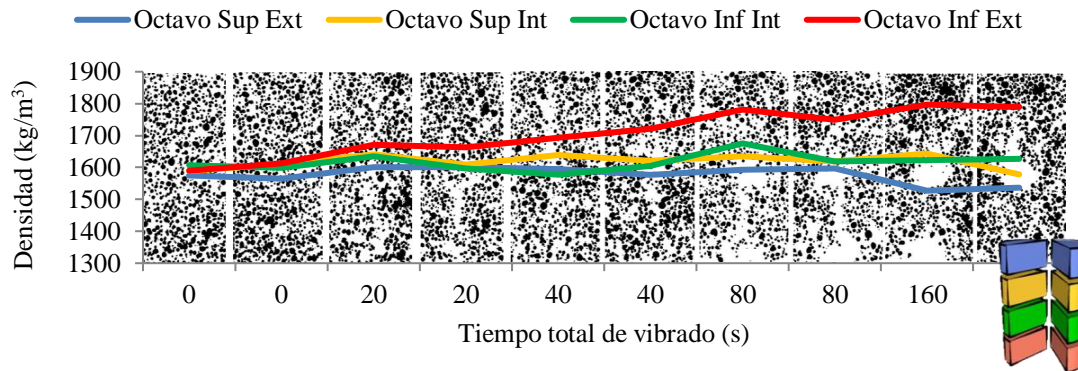


Figura 70 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min

#### 6.3.4.DRS X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 1 (HL1), diseñado para una densidad teórica de 1700 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 90 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La representa Figura 71 la variación de las densidades secas, medidas experimentalmente en cada mitad de probeta, y la Figura 72 en cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado.

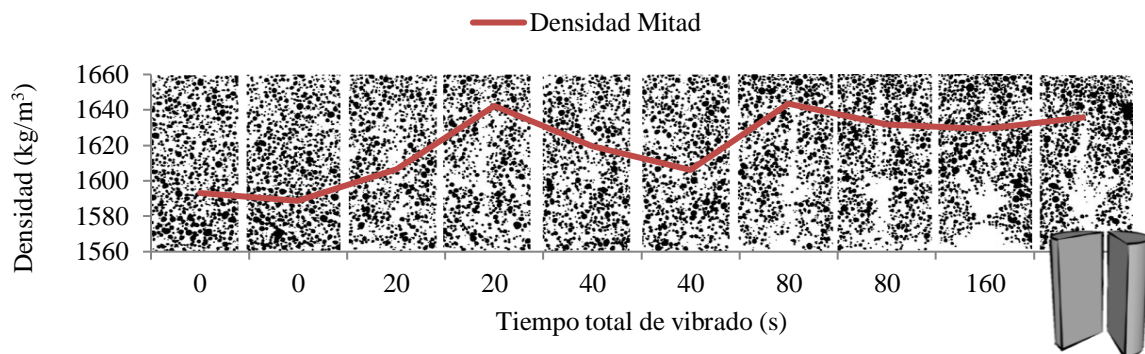


Figura 71 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min

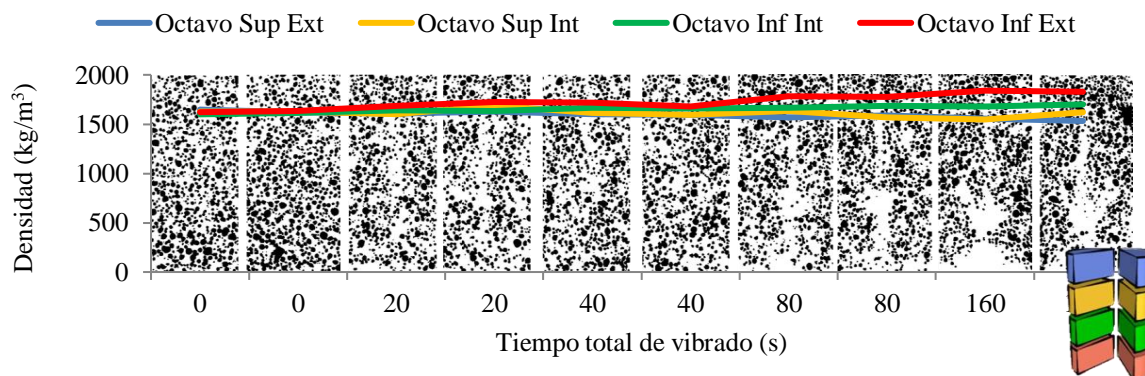
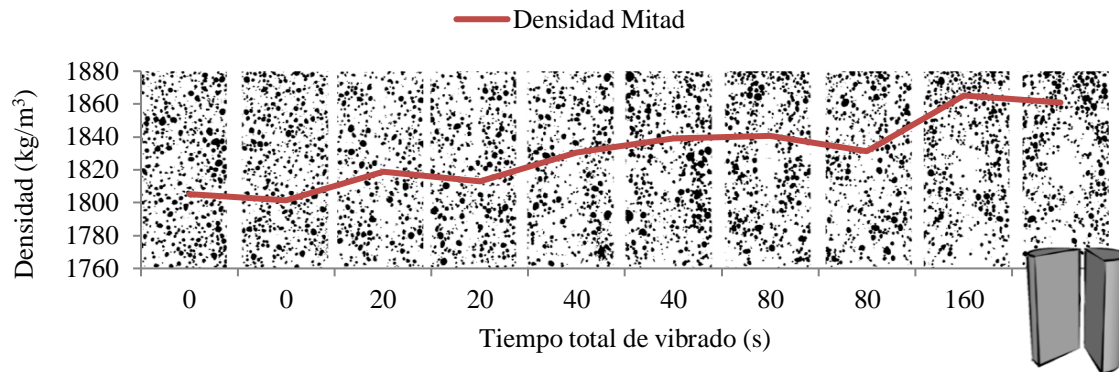


Figura 72 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min

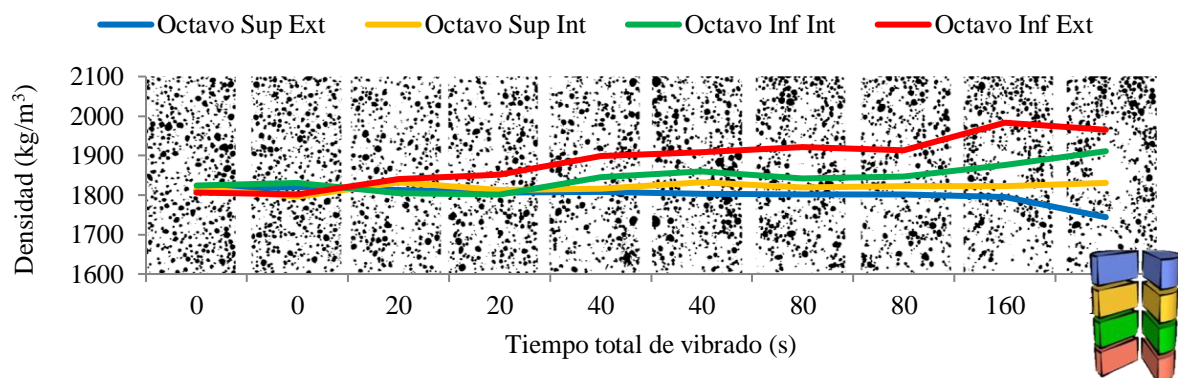


### 6.3.5.DRS X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 2 (HL2), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La representa Figura 73 la variación de las densidades secas, medidas experimentalmente en cada mitad de probeta, y la Figura 74 en cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado.



**Figura 73 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 15 min**



**Figura 74 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 15 min**

### 6.3.6.DRS X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 2 (HL2), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 30 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La representa Figura 75 la variación de las densidades secas, medidas experimentalmente en cada mitad de probeta, y la Figura 76 en cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado.

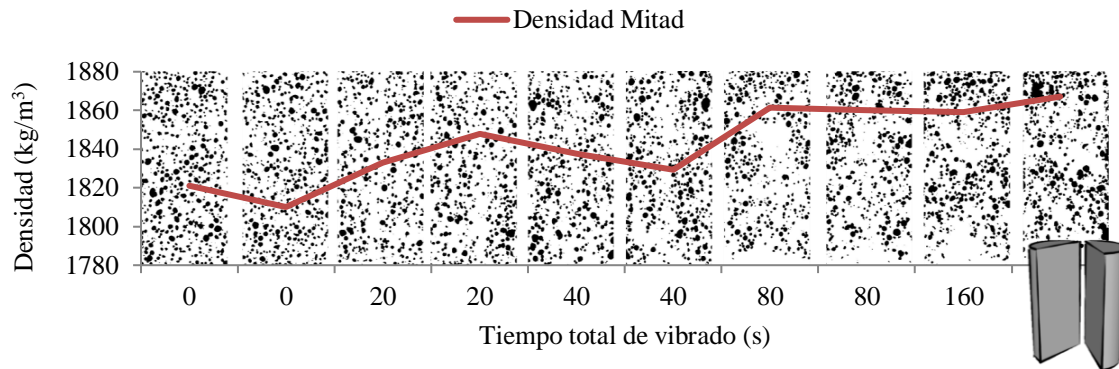


Figura 75 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 30 min

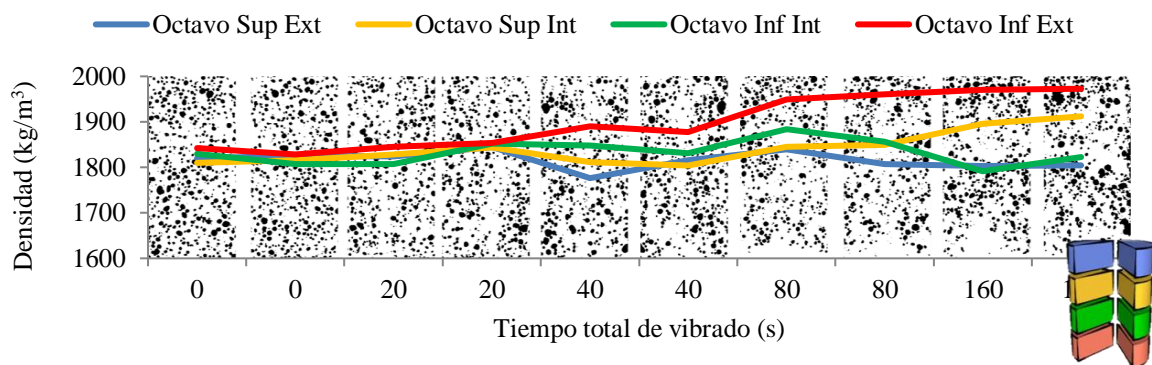


Figura 76 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 30 min

### 6.3.7.DRS X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 2 (HL2), diseñado para una densidad teórica de  $1900 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 60 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La representa Figura 77 la variación de las densidades secas, medidas experimentalmente en cada mitad de probeta, y la Figura 78 en cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado.

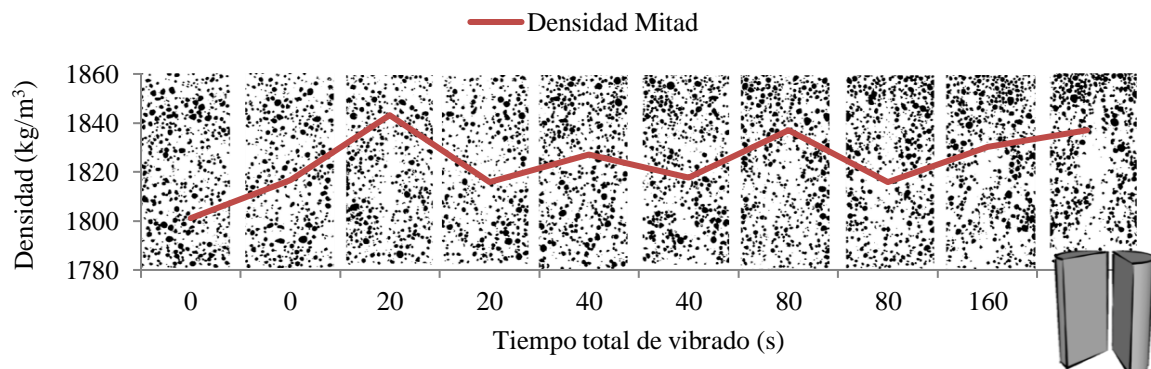


Figura 77 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 60 min



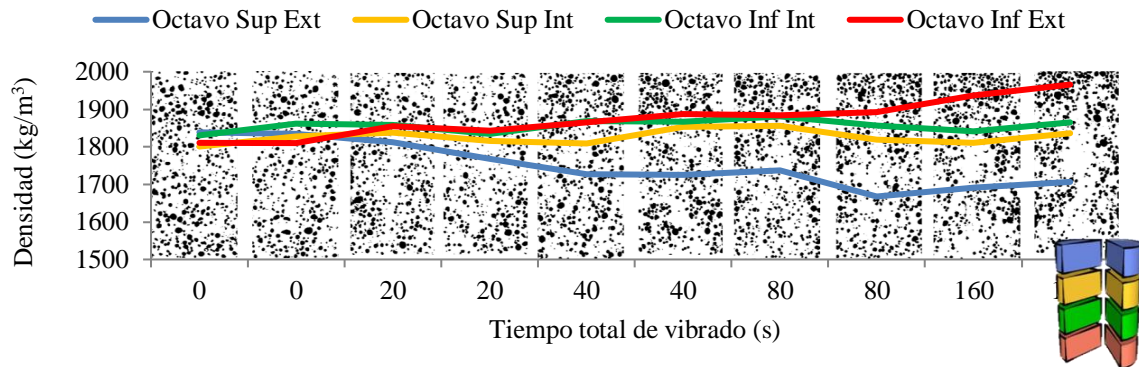


Figura 78 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 60 min

### 6.3.8.DRS X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 2 (HL2), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m³, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 90 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La representa Figura 79 la variación de las densidades secas, medidas experimentalmente en cada mitad de probeta, y la Figura 80 en cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado.

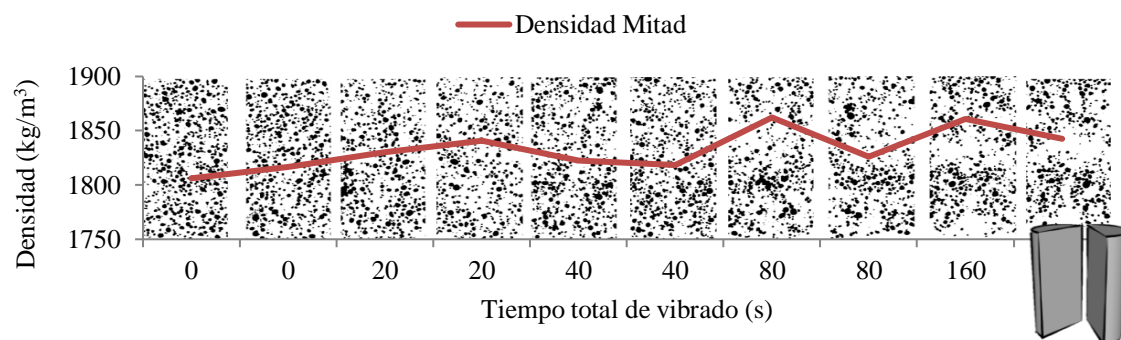


Figura 79 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 90 min

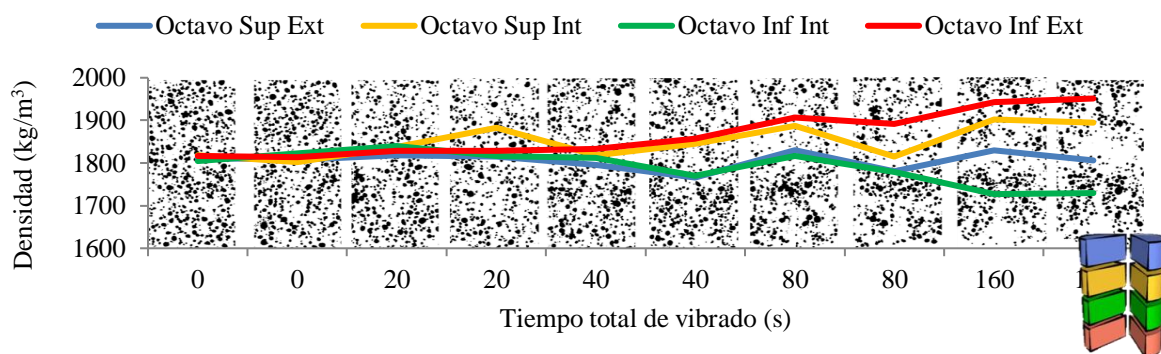


Figura 80 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 90 min



### 6.3.9.DRS X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 3 (HL3), diseñado para una densidad teórica de 1700 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La representa Figura 81 la variación de las densidades secas, medidas experimentalmente en cada mitad de probeta, y la Figura 82 en cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado.

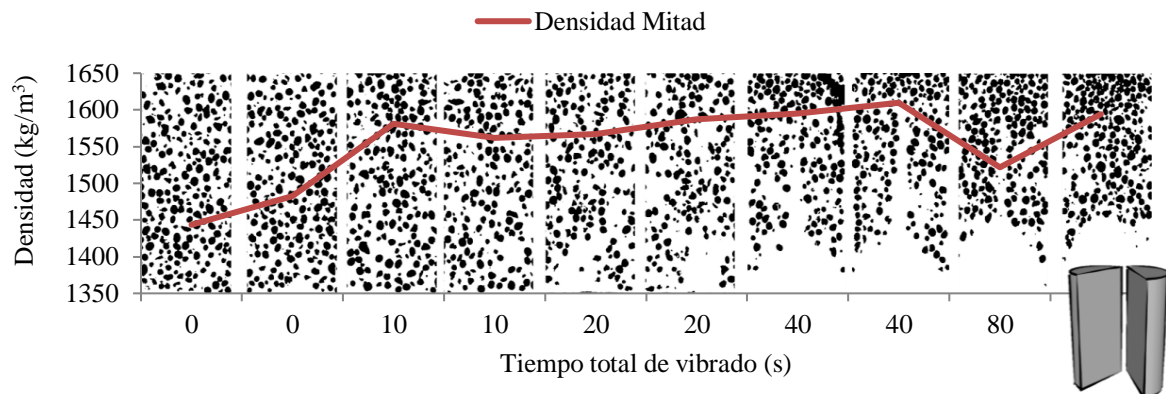


Figura 81 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 15 min

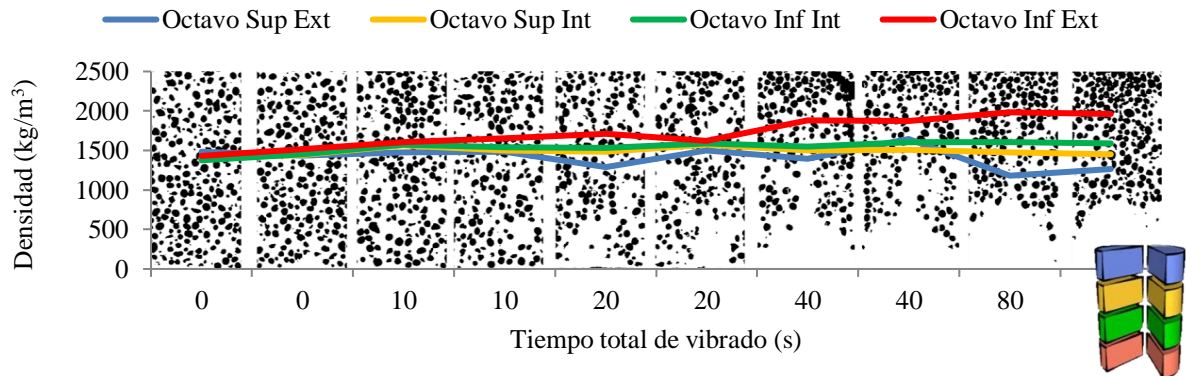
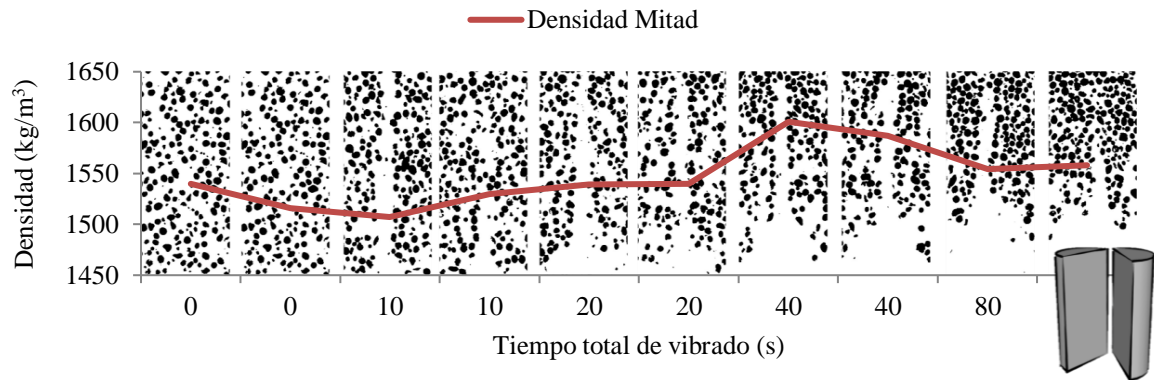


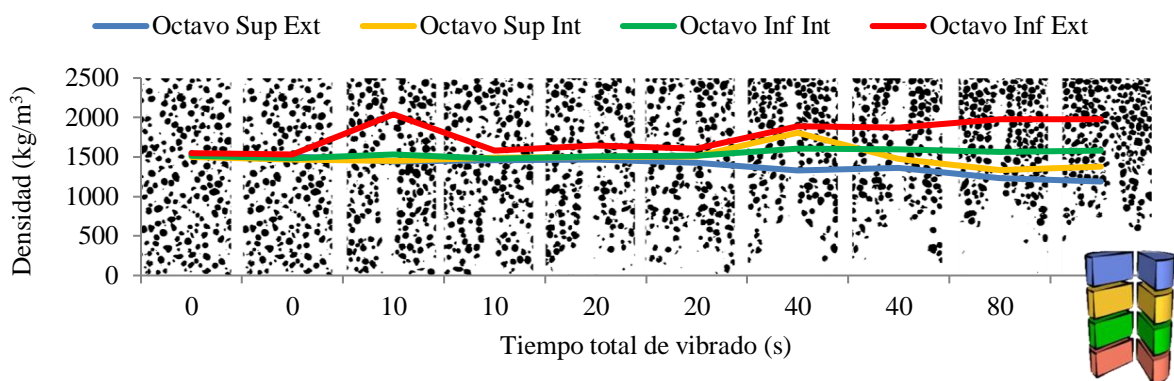
Figura 82 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 15 min

### 6.3.10. DRS X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 3 (HL3), diseñado para una densidad teórica de 1700 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 30 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La representa Figura 83 la variación de las densidades secas, medidas experimentalmente en cada mitad de probeta, y la Figura 84 en cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado.



**Figura 83 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 30 min**



**Figura 84 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 30 min**

### 6.3.11. DRS X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 3 (HL3), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 60 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La representa Figura 85 la variación de las densidades secas, medidas experimentalmente en cada mitad de probeta, y la Figura 86 en cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado.



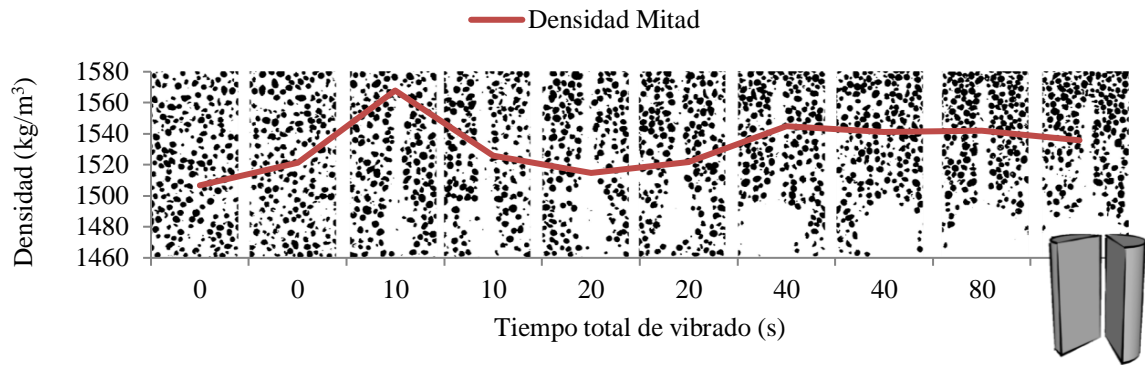


Figura 85 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 60 min

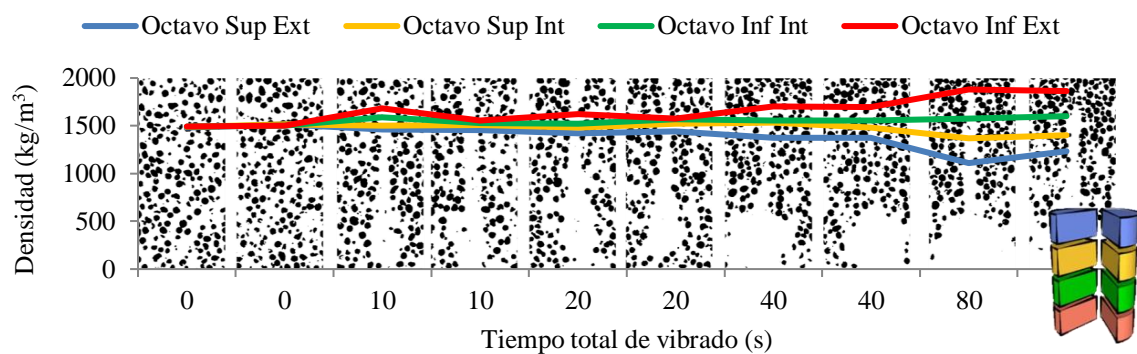


Figura 86 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 60 min

### 6.3.1.DRS X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 3 (HL3), diseñado para una densidad teórica de 1700 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 90 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La representa Figura 87 la variación de las densidades secas, medidas experimentalmente en cada mitad de probeta, y la Figura 88 en cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado.

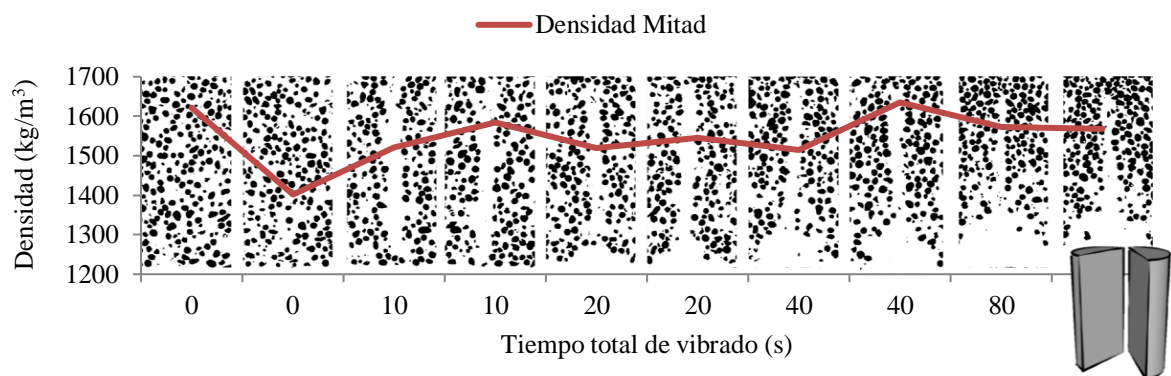


Figura 87 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 90 min

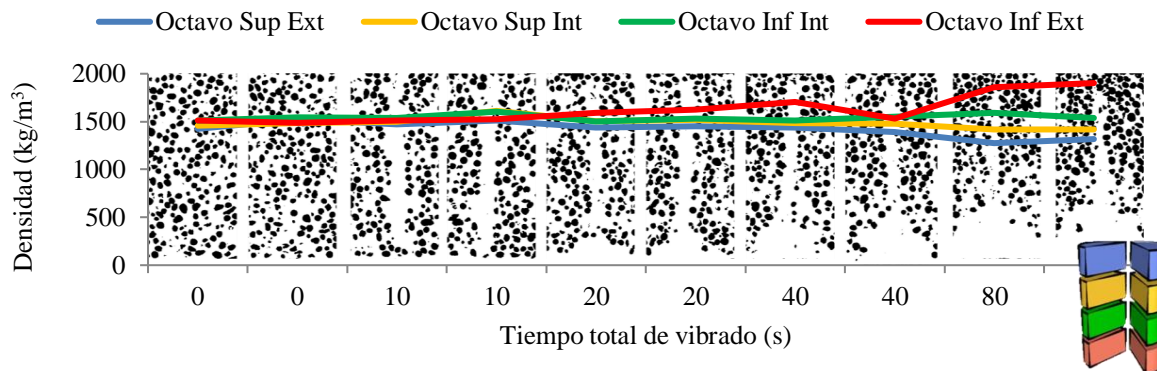


Figura 88 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 90 min

### 6.3.2.DRS X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 4 (HL4), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m³, vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M La representa Figura 89 la variación de las densidades secas, medidas experimentalmente en cada mitad de probeta, y la Figura 90 en cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado.

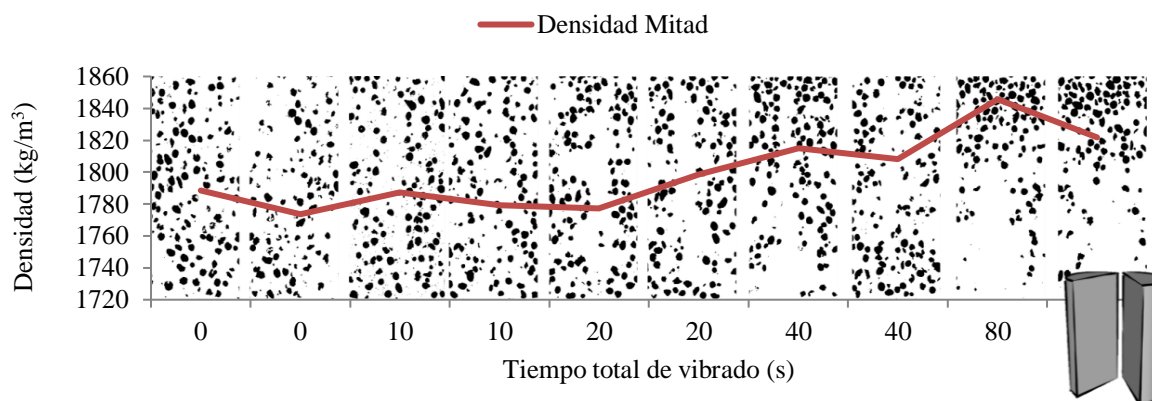


Figura 89 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 15 min

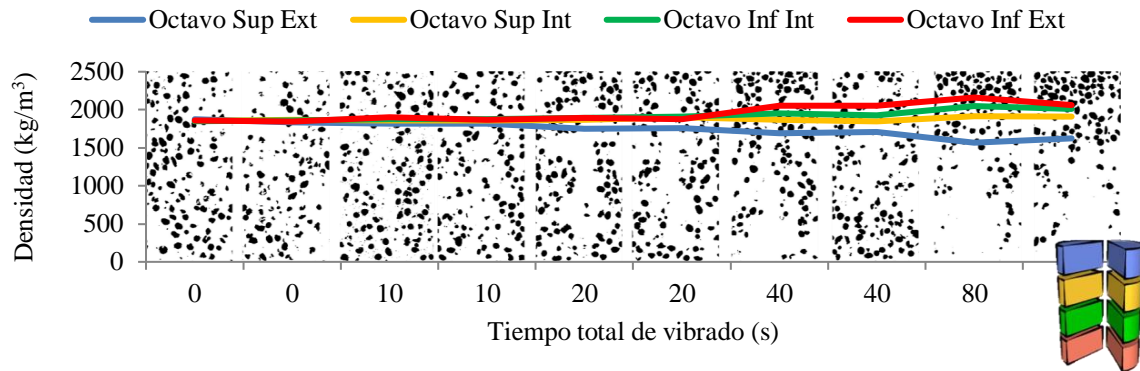


Figura 90 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 15 min

### 6.3.3.DRS X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 4 (HL4), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 30 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La representa Figura 91 la variación de las densidades secas, medidas experimentalmente en cada mitad de probeta, y la Figura 92 en cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado.

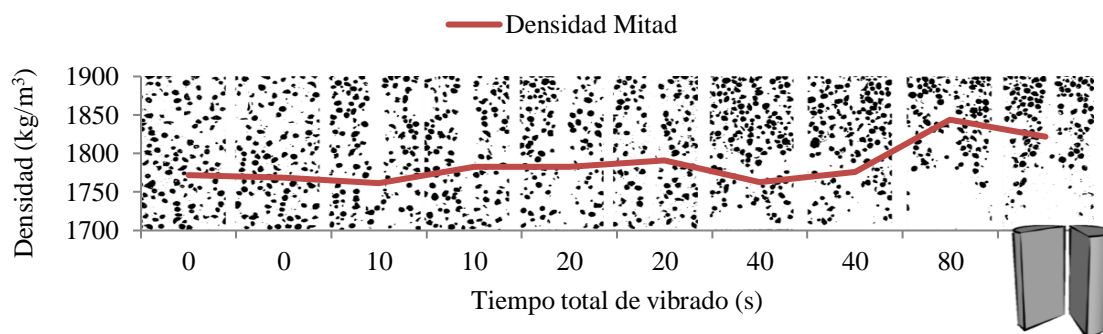


Figura 91 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 30 min

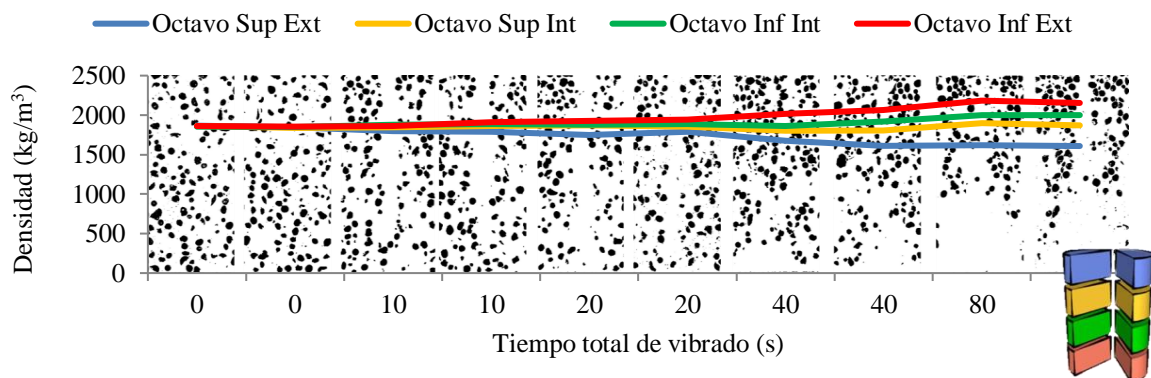
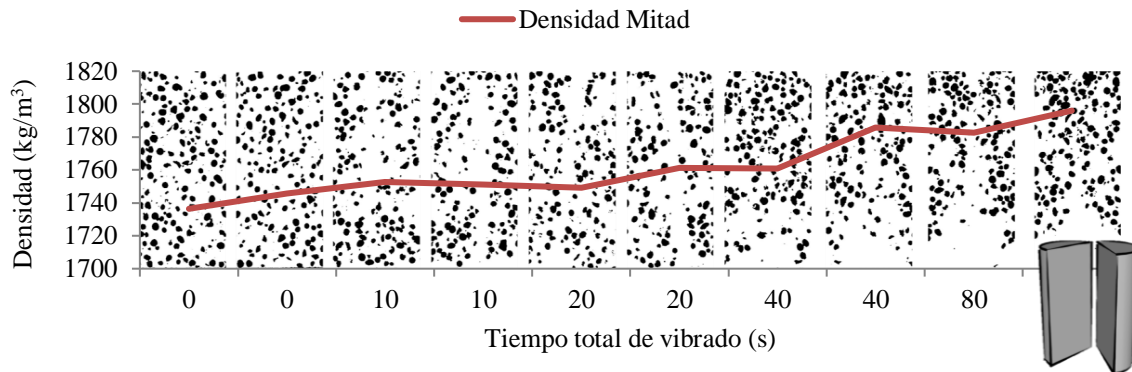


Figura 92 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 30 min

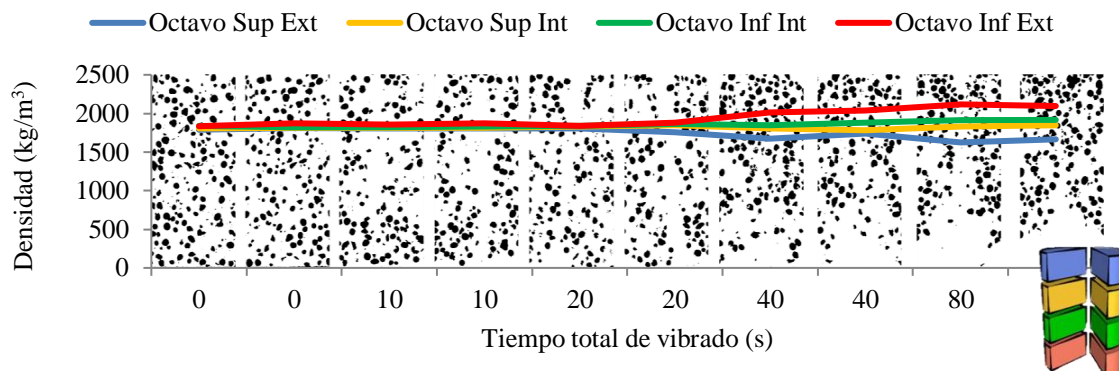


#### 6.3.4.DRS X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 4 (HL4), diseñado para una densidad teórica de  $1900 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 60 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La representa Figura 93 la variación de las densidades secas, medidas experimentalmente en cada mitad de probeta, y la Figura 94 en cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado.



**Figura 93 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 60 min**

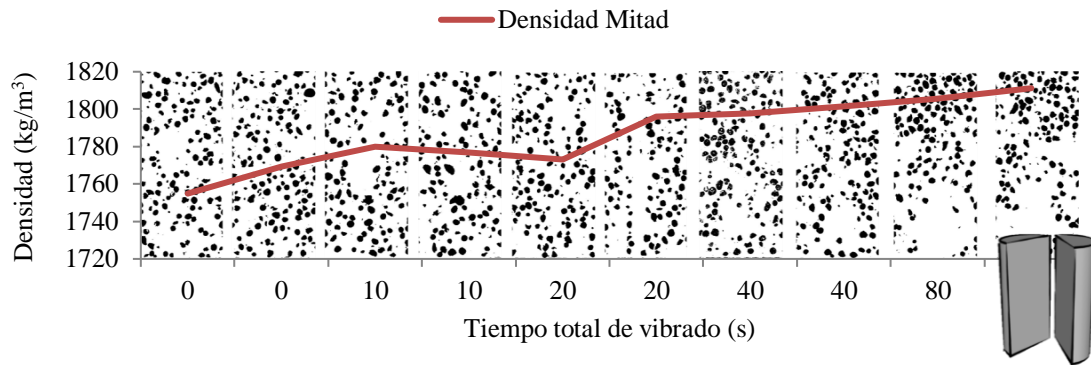


**Figura 94 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 60 min**

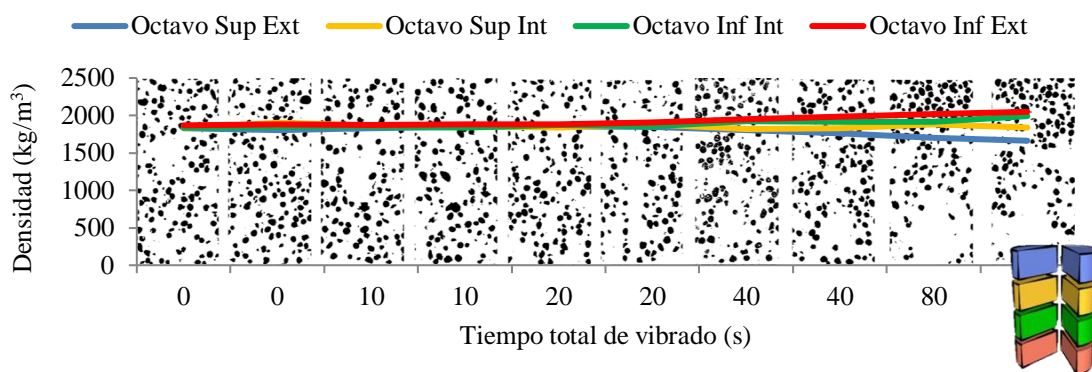
#### 6.3.5.DRS X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 4 (HL4), diseñado para una densidad teórica de  $1900 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 90 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La representa Figura 95 la variación de las densidades secas, medidas experimentalmente en cada mitad de probeta, y la Figura 96 en cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado.





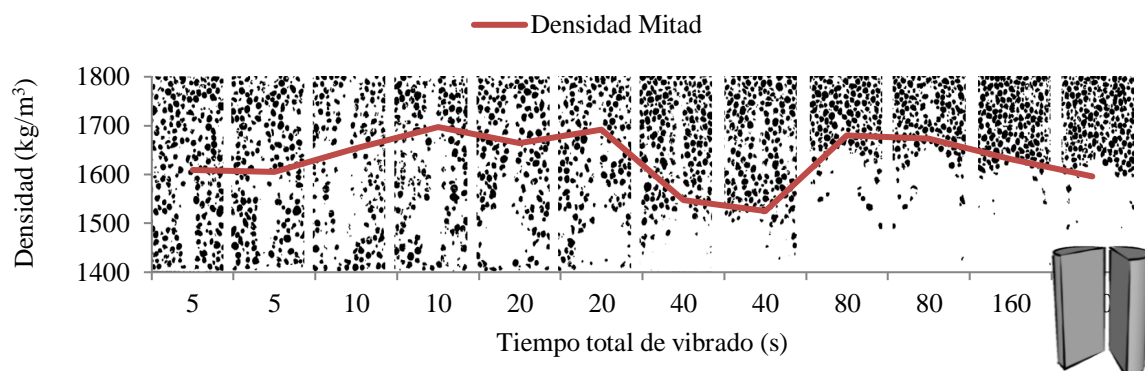
**Figura 95 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 90 min**



**Figura 96 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 90 min**

#### 6.3.6.DRS X TV - HORMIGÓN 5 (HL5), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 5 (HL5), diseñado para una densidad teórica de 1700 kg/m³, vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La representa Figura 97 la variación de las densidades secas, medidas experimentalmente en cada mitad de probeta, y la Figura 98 en cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado.



**Figura 97 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 5 (HL5), tiempo de fabricación de 15 min**

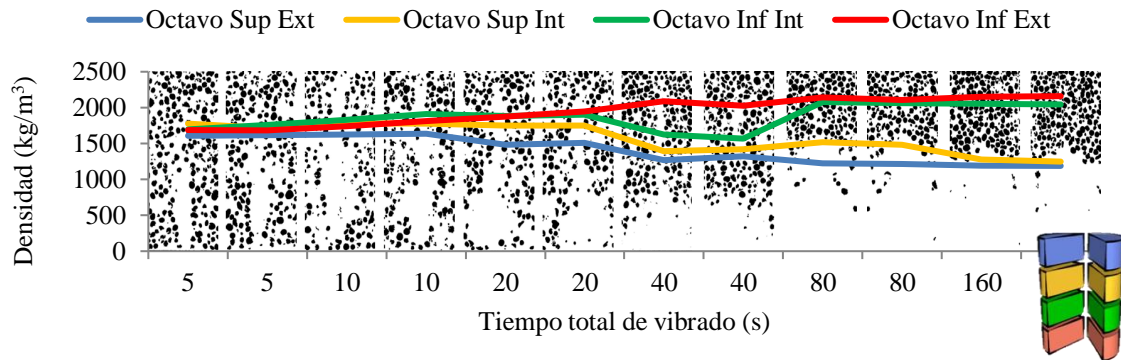


Figura 98 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 5 (HL5), tiempo de fabricación de 15 min

### 6.3.7.DRS X TV - HORMIGÓN 6 (HL6), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 6 (HL6), diseñado para una densidad teórica de 1700 kg/m³, vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Laterlite LTM. La representa Figura 99 la variación de las densidades secas, medidas experimentalmente en cada mitad de probeta, y la Figura 100 en cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado.

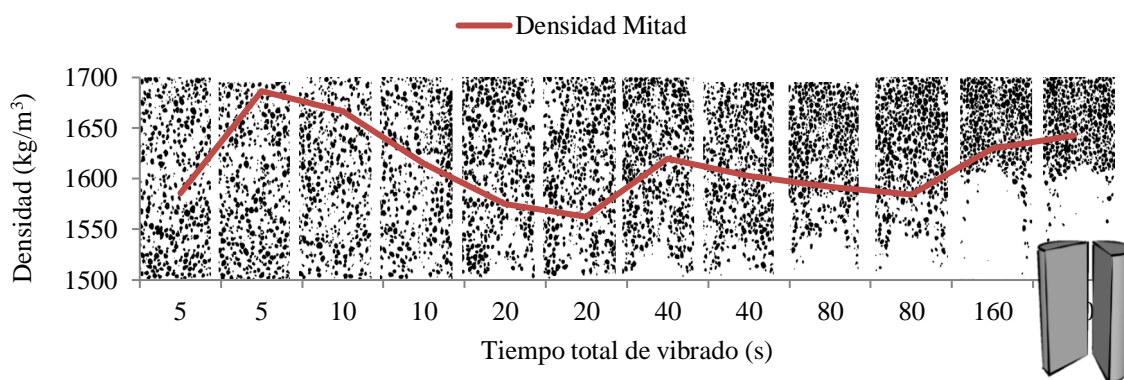


Figura 99 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 6 (HL6), tiempo de fabricación de 15 min

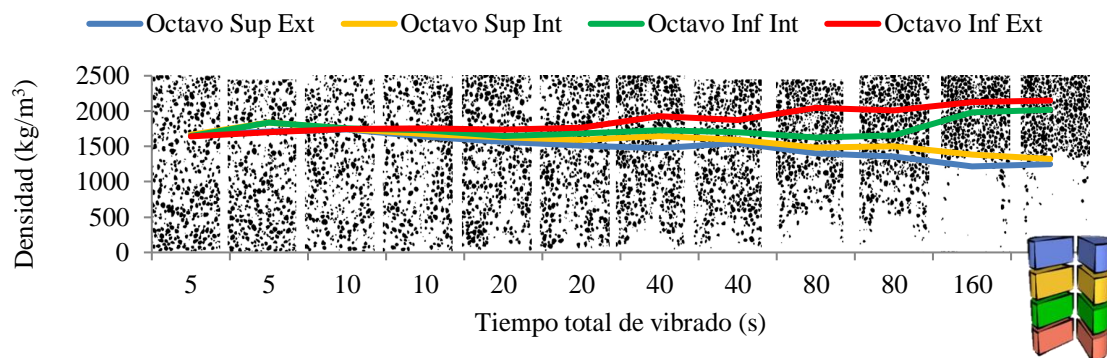
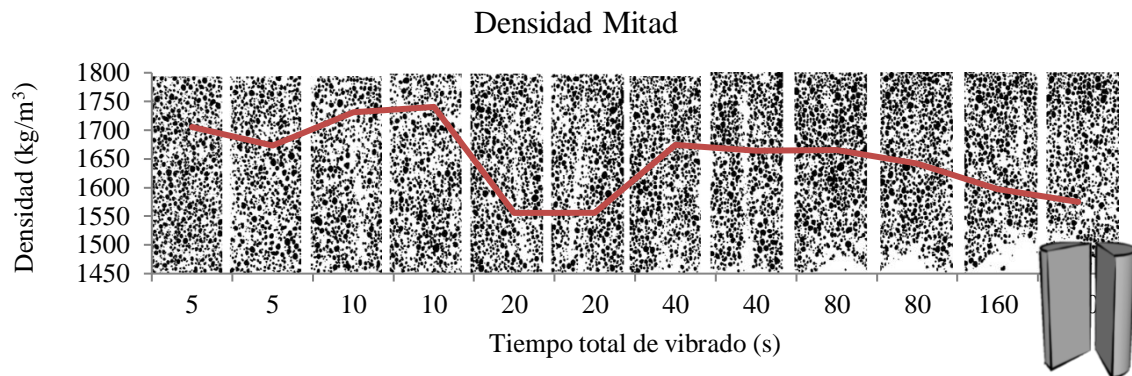


Figura 100 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 6 (HL6), tiempo de fabricación de 15 min

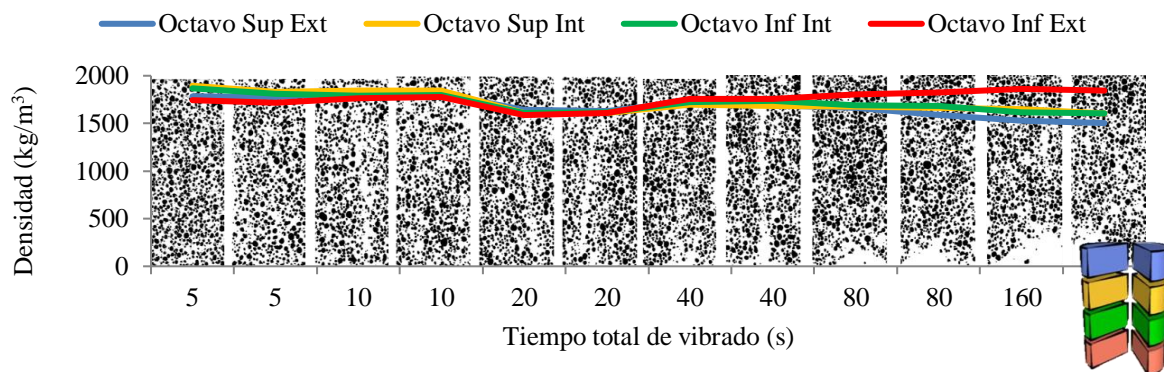


### 6.3.8.DRS X TV - HORMIGÓN 7 (HL7), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 7 (HL7), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La representa Figura 101 la variación de las densidades secas, medidas experimentalmente en cada mitad de probeta, y la Figura 102 en cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado.



**Figura 101 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 7 (HL7), tiempo de fabricación de 15 min**

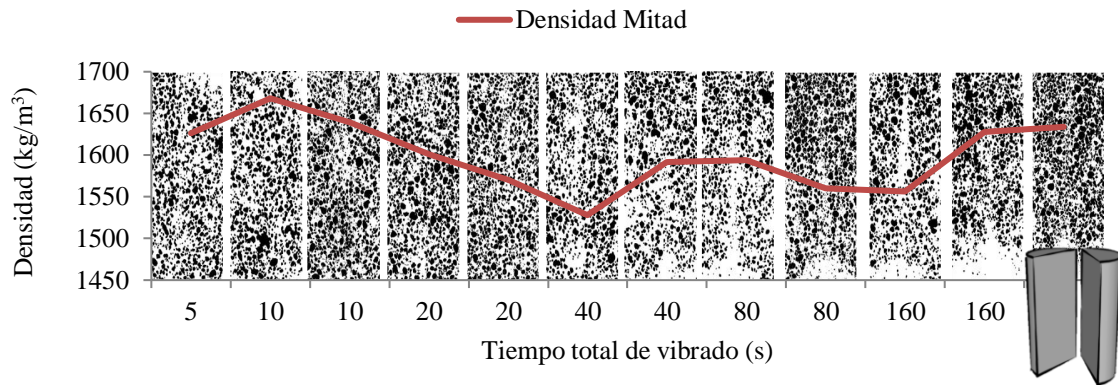


**Figura 102 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 7 (HL7), tiempo de fabricación de 15 min**

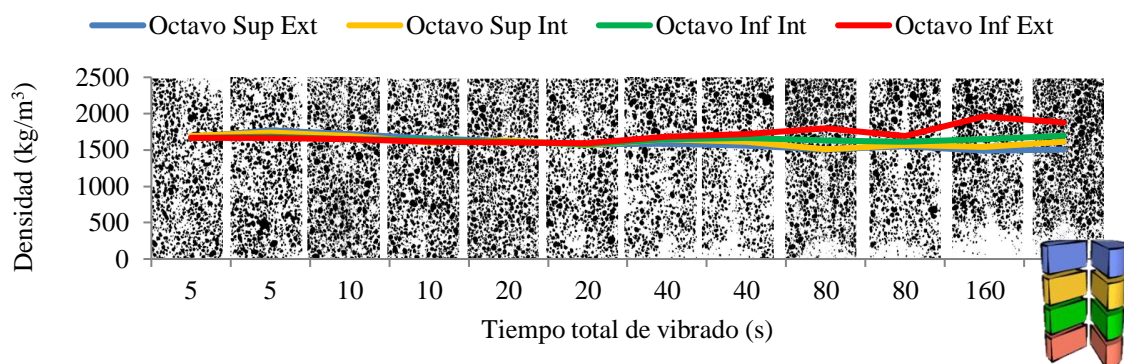
### 6.3.9.DRS X TV - HORMIGÓN 8 (HL8), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 8 (HL8), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Laterlite LTHS. La representa Figura 103 la variación de las densidades secas, medidas experimentalmente en cada mitad de probeta, y la Figura 104 en cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado.





**Figura 103 - Variación de la densidad de las mitades de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 8 (HL8), tiempo de fabricación de 15 min**



**Figura 104 - Variación de la densidad de los octavos de probeta, (medida experimentalmente) según los tiempos de vibrado para el hormigón 8 (HL8), tiempo de fabricación de 15 min**

#### 6.4. COMENTARIOS SOBRE LOS RESULTADOS DEL APARTADO 6.3

En la mayoría de los casos (14/20) el comportamiento de la densidad seca de las mitades de probeta, medidas experimentalmente por balanza hidrostática, es creciente en función del aumento del tiempo de vibrado. Este comportamiento se debe a la eliminación del aire atrapado y por consecuencia, el aumento de la compactación del hormigón.

Cuanto a los octavos de probeta, el comportamiento es similar en todos los casos: en los tiempos de vibrado iniciales (homogeneidad en el interior de las probetas) los cuatro octavos de cada mitad presentan densidades similares. Con el aumento del tiempo de vibrado, los octavos superiores (azules) presentan un descenso en los valores de sus densidades debido al aumento de la concentración de áridos ligeros en la zona superior de las probetas. De manera contraria, en los octavos inferiores (rojos) la densidad aumenta con el incremento del tiempo de vibrado, debido al aumento de la concentración de mortero en la zona inferior de las probetas.

6.3



### 6.5. RESULTADOS: VELOCIDAD DE PASO DE LAS ONDAS DE ULTRASONIDO (VPU) VERSUS TIEMPO DE VIBRADO (TV)

Hormigón	Densidad Teórica	Tiempo de Fabricación	Posición	Tiempo de vibrado total													
				0 s	0 s	5 s	5 s	10 s	10 s	20 s	20 s	40 s	40 s	80 s	80 s	160 s	160 s
HL1	1700 kg/m <sup>3</sup>	15 min	VPU Octavo Sup Ext (m/s)	3505	3392	-	-	-	-	3336	3485	3374	3231	3399	3296	3448	3118
			VPU Octavo Sup Int (m/s)	3381	3264	-	-	-	-	3392	3324	3304	3411	3298	3337	3482	3324
			VPU Octavo Inf Int (m/s)	3497	3408	-	-	-	-	3300	3304	3384	3413	3436	3487	3298	3308
			VPU Octavo Inf Ext (m/s)	3624	3482	-	-	-	-	3309	3427	3487	3599	3298	3411	3530	3620
HL2	1700 kg/m <sup>3</sup>	30 min	VPU Octavo Sup Ext (m/s)	3335	3266	-	-	-	-	3416	3454	3266	3411	3398	3343	3452	3363
			VPU Octavo Sup Int (m/s)	3333	3242	-	-	-	-	3452	3314	3350	3314	3329	3351	3401	3256
			VPU Octavo Inf Int (m/s)	3421	3304	-	-	-	-	3401	3340	3624	3270	3443	3616	3495	3350
			VPU Octavo Inf Ext (m/s)	3424	3376	-	-	-	-	3546	3589	3500	3487	3428	3561	3565	3523
HL3	1700 kg/m <sup>3</sup>	60 min	VPU Octavo Sup Ext (m/s)	3450	3252	-	-	-	-	3413	3638	3485	3388	3464	3327	3585	3478
			VPU Octavo Sup Int (m/s)	3404	3425	-	-	-	-	3552	3478	3490	3550	3613	3525	3465	3605
			VPU Octavo Inf Int (m/s)	3442	3573	-	-	-	-	3524	3806	3711	3450	3464	3473	3429	3695
			VPU Octavo Inf Ext (m/s)	3453	3398	-	-	-	-	3548	3523	3563	3570	3388	3626	3756	3489
HL4	1700 kg/m <sup>3</sup>	90 min	VPU Octavo Sup Ext (m/s)	3298	3352	-	-	-	-	3519	3596	3438	3620	3611	3613	3336	3468
			VPU Octavo Sup Int (m/s)	3367	3398	-	-	-	-	3556	3565	3444	3589	3446	3513	3336	3584
			VPU Octavo Inf Int (m/s)	3463	3424	-	-	-	-	3519	3548	3438	3613	3628	3626	3543	3463
			VPU Octavo Inf Ext (m/s)	3695	3529	-	-	-	-	3636	3547	3714	3409	3706	3728	3792	3518
HL2	1900 kg/m <sup>3</sup>	15 min	VPU Octavo Sup Ext (m/s)	3605	3676	-	-	-	-	3654	3659	3638	3676	3569	3642	3649	3462
			VPU Octavo Sup Int (m/s)	3584	3584	-	-	-	-	3681	3686	3528	3670	3495	3574	3523	3558
			VPU Octavo Inf Int (m/s)	3665	3665	-	-	-	-	3589	3670	3744	3761	3579	3651	3706	3714
			VPU Octavo Inf Ext (m/s)	3610	3470	-	-	-	-	3700	3795	3639	3715	3708	3670	3821	3805
HL2	1900 kg/m <sup>3</sup>	30 min	VPU Octavo Sup Ext (m/s)	3568	3616	-	-	-	-	3557	3706	3665	3659	3705	3672	3638	3750
			VPU Octavo Sup Int (m/s)	3492	3415	-	-	-	-	3672	3783	3703	3756	3843	3667	3903	3744
			VPU Octavo Inf Int (m/s)	3451	3600	-	-	-	-	3689	3678	3783	3811	3732	3763	3686	3692
			VPU Octavo Inf Ext (m/s)	3538	3551	-	-	-	-	3641	3647	3700	3695	3754	3885	3926	3867
HL2	1900 kg/m <sup>3</sup>	60 min	VPU Octavo Sup Ext (m/s)	3916	3826	-	-	-	-	3764	3698	3614	3754	3730	3558	3624	3730
			VPU Octavo Sup Int (m/s)	3680	3799	-	-	-	-	3964	3828	3698	3929	3939	4046	3905	3730
			VPU Octavo Inf Int (m/s)	3709	4017	-	-	-	-	4157	4006	3941	4049	4052	3832	4017	4057
			VPU Octavo Inf Ext (m/s)	3745	3815	-	-	-	-	3917	3833	3965	3935	3988	3970	4065	3874
HL2	1900 kg/m <sup>3</sup>	90 min	VPU Octavo Sup Ext (m/s)	3891	3897	-	-	-	-	3842	4039	3911	3754	3913	3839	3821	3966



**El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros.  
Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.**



			VPU Octavo Sup Int (m/s)	3804	3788	-	-	-	-	4126	4084	3923	3947	4213	4037	3972	3978
			VPU Octavo Inf Int (m/s)	3913	3875	-	-	-	-	3951	3962	3822	3816	3857	3822	3649	3751
			VPU Octavo Inf Ext (m/s)	3701	3827	-	-	-	-	3950	3755	3960	3925	3883	3945	4012	4030
HL3	1700 kg/m3	15 min	VPU Octavo Sup Ext (m/s)	3333	3417	-	-	3594	3452	3434	3598	3646	3384	3009	3454	-	-
			VPU Octavo Sup Int (m/s)	3049	3208	-	-	3434	3472	3452	3542	3791	3696	3505	3598	-	-
			VPU Octavo Inf Int (m/s)	3469	3366	-	-	3503	3736	3542	3452	3617	3636	3598	3598	-	-
			VPU Octavo Inf Ext (m/s)	3608	3317	-	-	3594	3670	3670	3553	3723	3846	3670	3750	-	-
HL3	1700 kg/m3	30 min	VPU Octavo Sup Ext (m/s)	3366	3583	-	-	4755	4626	4224	4444	4533	4857	3208	3254	-	-
			VPU Octavo Sup Int (m/s)	3366	3367	-	-	4595	4658	4564	4658	4928	4928	3505	3542	-	-
			VPU Octavo Inf Int (m/s)	3454	3300	-	-	4658	4823	4444	4474	4595	4658	3542	3636	-	-
			VPU Octavo Inf Ext (m/s)	3431	3430	-	-	4897	4865	5035	4586	5000	4898	3670	3791	-	-
HL3	1700 kg/m3	60 min	VPU Octavo Sup Ext (m/s)	3418	3434	-	-	4755	4722	4474	4755	4755	4503	3285	3333	-	-
			VPU Octavo Sup Int (m/s)	3367	3300	-	-	4626	5075	4658	4928	4658	4789	3542	3452	-	-
			VPU Octavo Inf Int (m/s)	3490	3598	-	-	4892	4857	4823	4726	4658	4722	3417	3636	-	-
			VPU Octavo Inf Ext (m/s)	3564	3333	-	-	4832	4671	5000	4641	5035	4966	3763	3791	-	-
HL3	1700 kg/m3	90 min	VPU Octavo Sup Ext (m/s)	3367	3434	-	-	3505	3434	3505	3520	3452	3505	3366	3383	-	-
			VPU Octavo Sup Int (m/s)	3583	3452	-	-	3452	3636	3598	3178	3542	3598	3542	3575	-	-
			VPU Octavo Inf Int (m/s)	3490	3636	-	-	3696	3617	3542	3452	3617	3696	3736	3636	-	-
			VPU Octavo Inf Ext (m/s)	3618	3518	-	-	3571	3608	3743	3485	3670	3704	3646	3646	-	-
HL4	1900 kg/m3	15 min	VPU Octavo Sup Ext (m/s)	3895	3876	-	-	3876	3833	4072	4072	4070	3807	3886	3820	-	-
			VPU Octavo Sup Int (m/s)	3696	3799	-	-	3799	3743	3851	3918	3886	4072	3876	3873	-	-
			VPU Octavo Inf Int (m/s)	3873	3764	-	-	4182	3918	3988	4182	4000	3873	4132	4121	-	-
			VPU Octavo Inf Ext (m/s)	3830	3797	-	-	3804	3867	4364	3883	3966	4000	4034	3989	-	-
HL4	1900 kg/m3	30 min	VPU Octavo Sup Ext (m/s)	4012	3716	-	-	3855	4023	3953	3807	3876	3898	3825	3690	-	-
			VPU Octavo Sup Int (m/s)	3846	3820	-	-	3898	3842	4072	3953	4035	3855	3911	4046	-	-
			VPU Octavo Inf Int (m/s)	3876	3851	-	-	3966	3931	3931	4012	4024	4481	3855	4107	-	-
			VPU Octavo Inf Ext (m/s)	3830	3966	-	-	3955	4068	3977	3966	3989	4162	3988	4085	-	-
HL4	1900 kg/m3	60 min	VPU Octavo Sup Ext (m/s)	3886	4059	-	-	3797	3777	4201	3855	3825	3953	3785	3829	-	-
			VPU Octavo Sup Int (m/s)	3820	3855	-	-	3955	3955	3825	3977	3829	3908	4121	4048	-	-
			VPU Octavo Inf Int (m/s)	3730	3812	-	-	3911	3989	3911	3966	4072	3988	4182	3964	-	-
			VPU Octavo Inf Ext (m/s)	3590	4000	-	-	3961	3924	3865	3926	4023	4268	4303	4080	-	-
HL4	1900 kg/m3	90 min	VPU Octavo Sup Ext (m/s)	3933	3763	-	-	3833	3833	3876	4172	3730	3632	3931	3716	-	-
			VPU Octavo Sup Int (m/s)	3804	3933	-	-	3977	3750	3833	4233	3943	3730	4136	3820	-	-





**El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros.  
Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.**



			VPU Octavo Inf Int (m/s)	3804	3812	-	-	3955	3750	3933	4000	3988	4061	3908	3988	-	-
			VPU Octavo Inf Ext (m/s)	3713	3846	-	-	4136	3829	4188	3892	3886	4104	4114	4128	-	-
HL5	1700 kg/m3	15 min	VPU Octavo Sup Ext (m/s)	-	-	3804	3923	3600	4037	3579	3710	3418	3404	3333	3223	3485	3385
			VPU Octavo Sup Int (m/s)	-	-	3876	3883	3905	3929	3791	3920	3490	3487	3455	3351	3300	3526
			VPU Octavo Inf Int (m/s)	-	-	3651	3824	3882	3902	4107	3886	3492	3492	3895	3687	3916	3869
			VPU Octavo Inf Ext (m/s)	-	-	3929	3869	3835	3846	4035	4024	3874	3732	3858	3842	4108	3842
HL6	1700 kg/m3	15 min	VPU Octavo Sup Ext (m/s)	-	-	3837	3846	3842	3750	3679	3737	3955	3661	3476	3542	3421	3490
			VPU Octavo Sup Int (m/s)	-	-	3764	4125	4000	3778	3535	3842	3886	3617	4000	3837	3251	3474
			VPU Octavo Inf Int (m/s)	-	-	3764	3743	3771	3667	3788	3946	3873	4012	3882	3939	3750	3860
			VPU Octavo Inf Ext (m/s)	-	-	3906	3892	3750	3814	3861	4014	4011	3966	3990	3906	3990	3866
HL7	1700 kg/m3	15 min	VPU Octavo Sup Ext (m/s)	-	-	3898	3955	3873	3851	3851	3815	3929	3736	3631	3579	3614	3557
			VPU Octavo Sup Int (m/s)	-	-	3716	3964	3837	4074	3721	3708	3757	3882	3778	3815	3480	3568
			VPU Octavo Inf Int (m/s)	-	-	3696	3770	3607	3902	3652	3687	3929	3815	3886	3869	3467	3586
			VPU Octavo Inf Ext (m/s)	-	-	3846	3797	3824	3482	3587	3709	3971	3941	4000	3911	3605	3575
HL8	1700 kg/m3	15 min	VPU Octavo Sup Ext (m/s)	-	-	3750	3651	3764	3736	3824	3598	3568	3545	3650	3587	3882	3439
			VPU Octavo Sup Int (m/s)	-	-	3617	3704	3842	3743	3564	3607	3679	3505	3824	3492	3631	3729
			VPU Octavo Inf Int (m/s)	-	-	3598	3684	3533	3696	3661	3492	3557	3627	3587	3607	3631	3824
			VPU Octavo Inf Ext (m/s)	-	-	3651	3641	3807	3645	3482	3568	3693	3608	3731	3615	3756	3786

**Tabla 14 - Resultados: velocidades de paso de las ondas ultrasónicas, de acuerdo con las propiedades de cada hormigón y el tiempo de vibrado.**



### 6.5.1. VPU X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 1 (HL1), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 105 representa la variación de las velocidades de paso de las ondas ultrasónicas tipo P, en cada octavo de las probetas, para cada tiempo de vibrado.

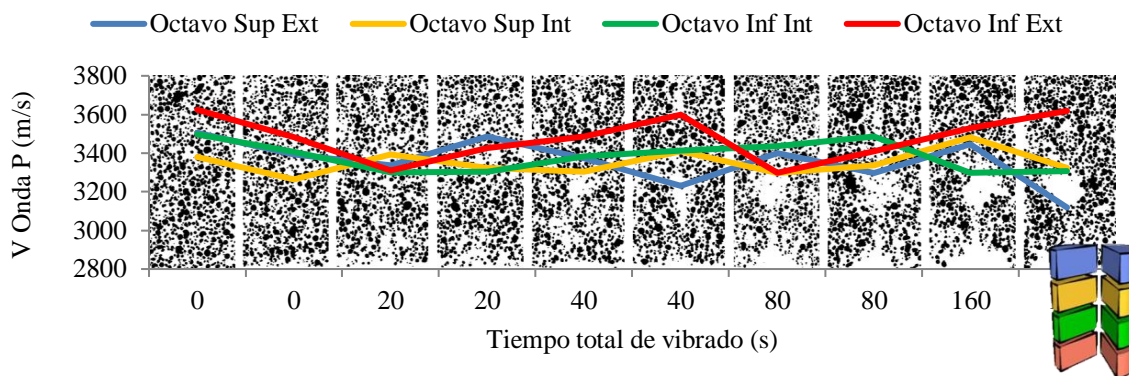


Figura 105 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 15 min

### 6.5.2. VPU X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 1 (HL1), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 30 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 106 representa la variación de las velocidades de paso de las ondas ultrasónicas tipo P, en cada octavo de las probetas, para cada tiempo de vibrado.

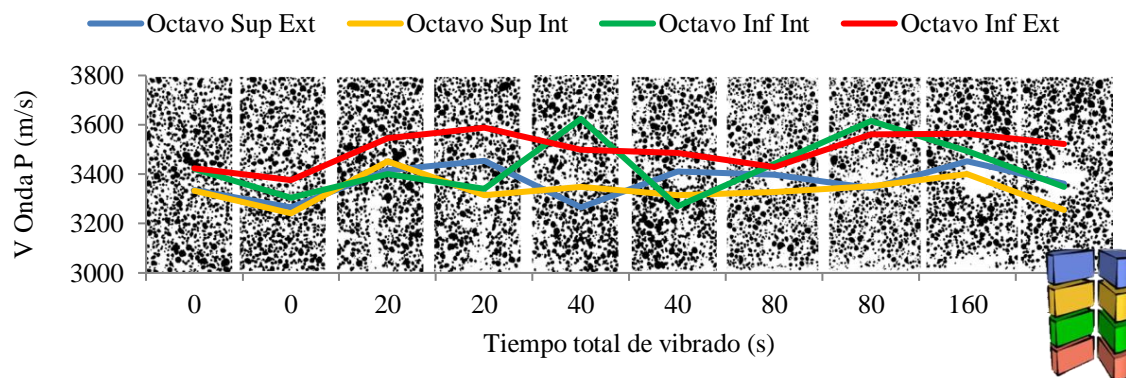


Figura 106 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 30 min

### 6.5.3. VPU X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.



En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 1 (HL1), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 60 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 107 representa la variación de las velocidades de paso de las ondas ultrasónicas tipo P, en cada octavo de las probetas, para cada tiempo de vibrado.

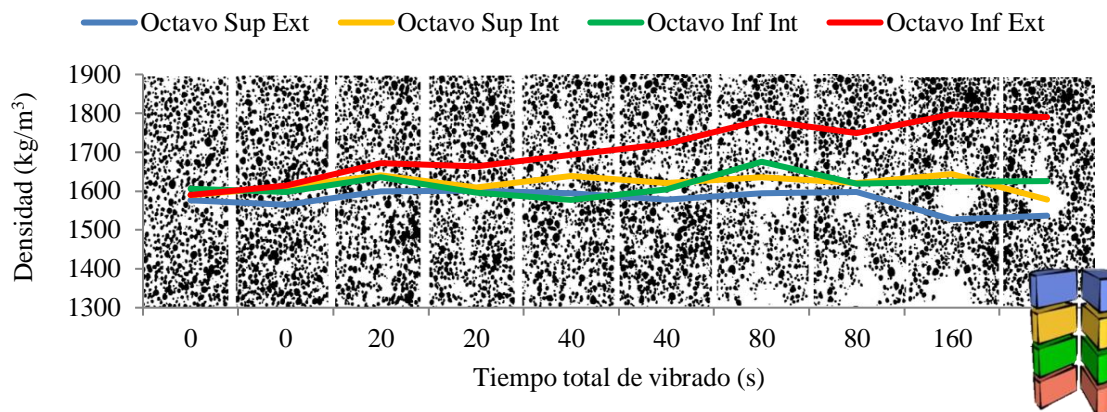


Figura 107 -Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min

#### 6.5.4.VPU X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 1 (HL1), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 90 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 108 representa la variación de las velocidades de paso de las ondas ultrasónicas tipo P, en cada octavo de las probetas, para cada tiempo de vibrado.

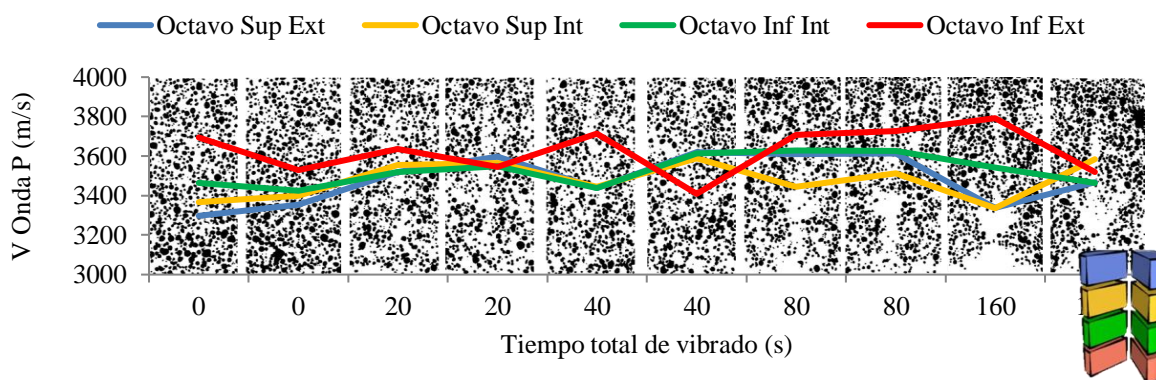


Figura 108 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 90 min

#### 6.5.5.VPU X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 2 (HL2), diseñado para una densidad teórica de  $1900 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 15 minutos y



fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 109 representa la variación de las velocidades de paso de las ondas ultrasónicas tipo P, en cada octavo de las probetas, para cada tiempo de vibrado.

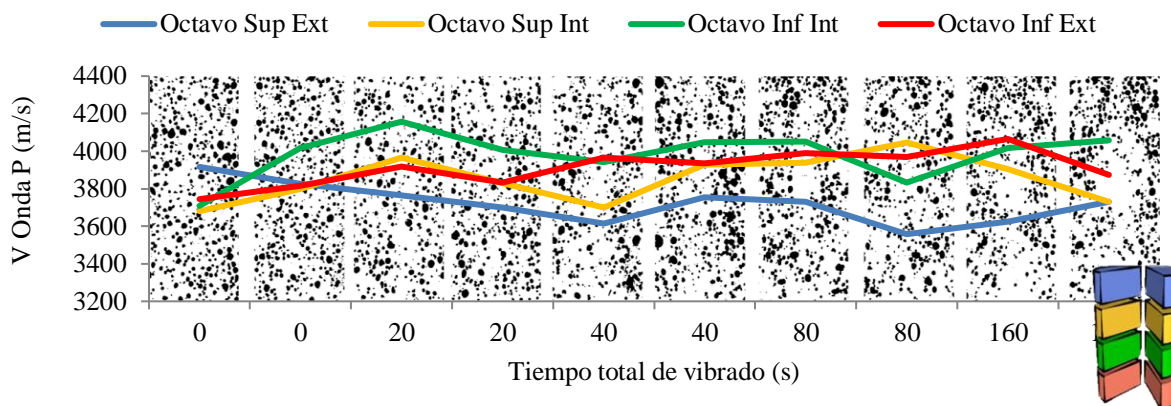


Figura 109 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 15 min

#### 6.5.6.VPU X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 2 (HL2), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 30 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 110 representa la variación de las velocidades de paso de las ondas ultrasónicas tipo P, en cada octavo de las probetas, para cada tiempo de vibrado.

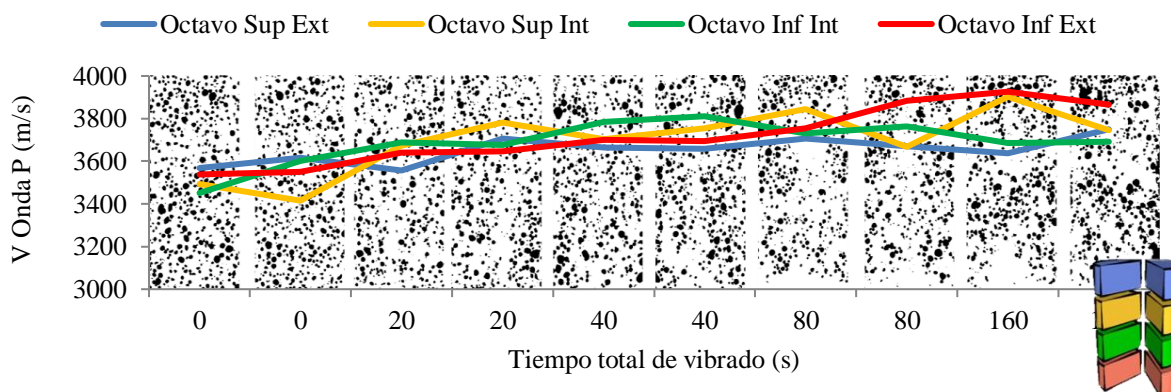


Figura 110 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 30 min

#### 6.5.7.VPU X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 2 (HL2), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 60 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 111 representa la variación de las velocidades de paso de las ondas ultrasónicas tipo P, en cada octavo de las probetas, para cada tiempo de vibrado.



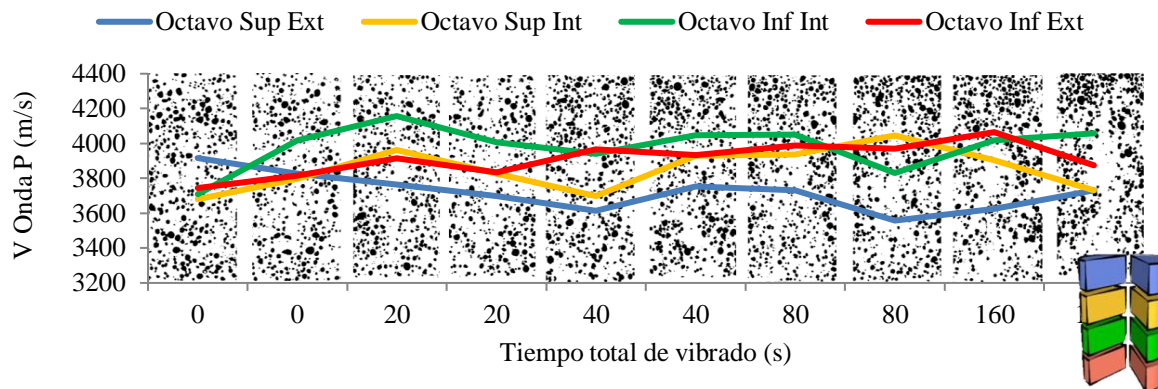


Figura 111 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 60 min

#### 6.5.8.VPU X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 2 (HL2), diseñado para una densidad teórica de  $1900 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 90 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 112 representa la variación de las velocidades de paso de las ondas ultrasónicas tipo P, en cada octavo de las probetas, para cada tiempo de vibrado.

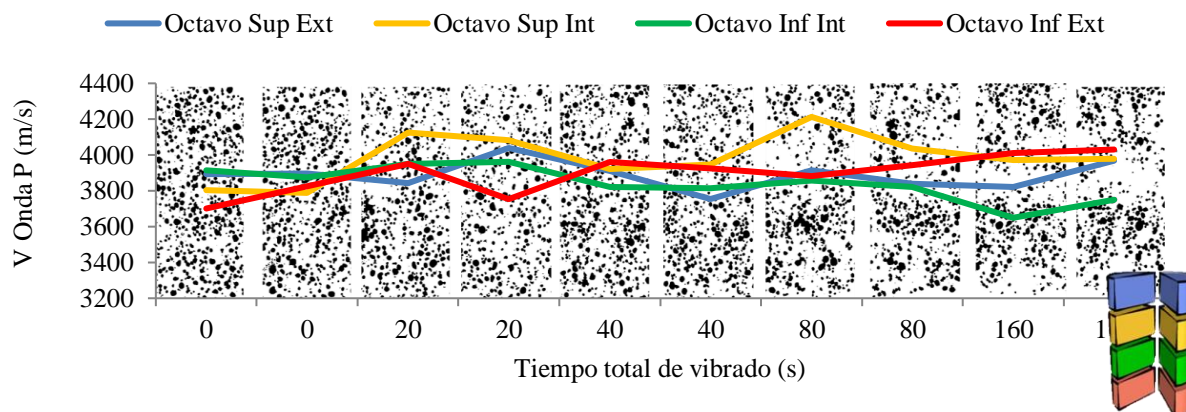


Figura 112 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 90 min

#### 6.5.9.VPU X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 3 (HL3), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 113 representa la variación de las velocidades de paso de las ondas ultrasónicas tipo P, en cada octavo de las probetas, en función del tiempo de vibrado aplicado a cada



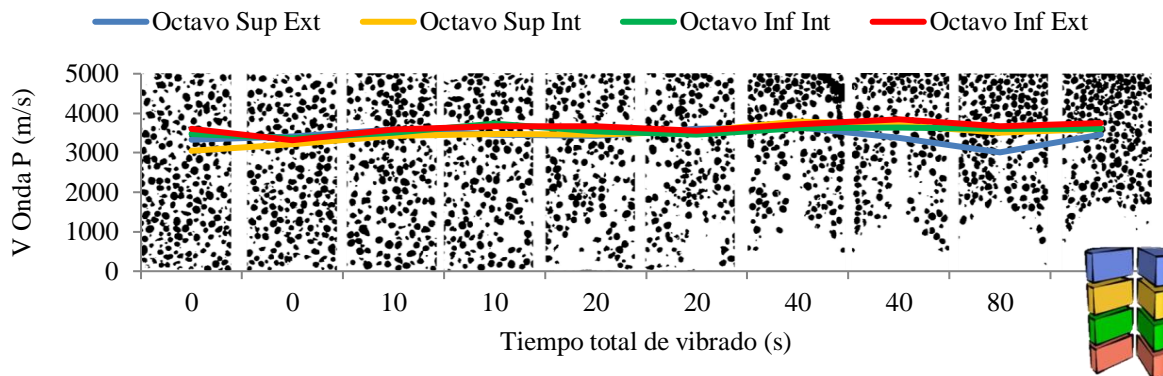


Figura 113 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 15 min

#### 6.5.10. VPU X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 3 (HL3), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 30 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 114 representa la variación de las velocidades de paso de las ondas ultrasónicas tipo P, en cada octavo de las probetas, para cada tiempo de vibrado.

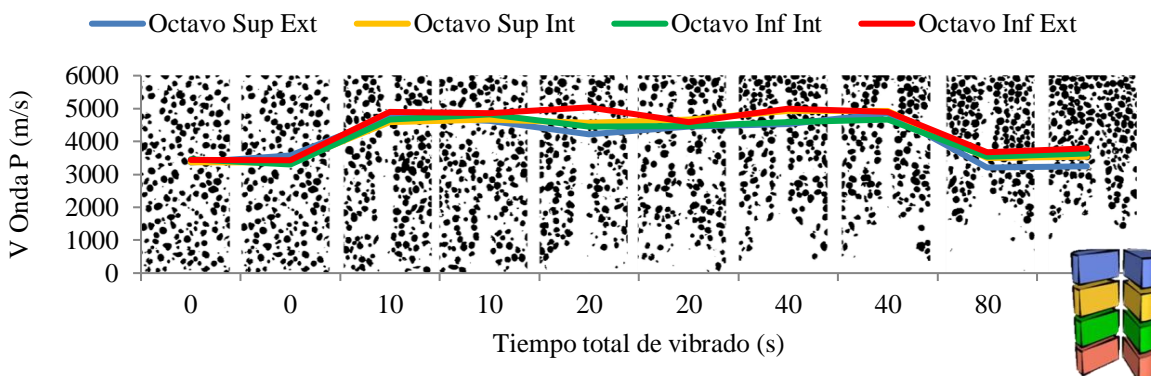


Figura 114 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 30 min

#### 6.5.11. VPU X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 3 (HL3), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 60 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 115 representa la variación de las velocidades de paso de las ondas ultrasónicas tipo P, en cada octavo de las probetas, para cada tiempo de vibrado.

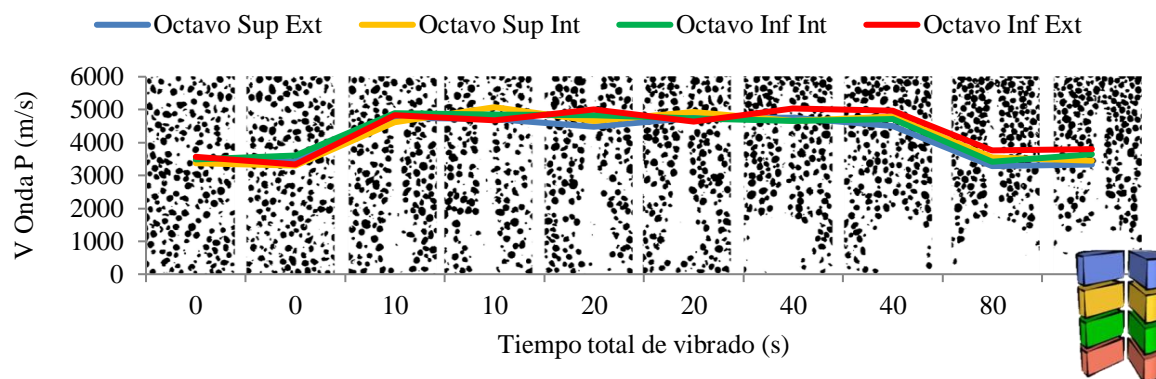


Figura 115 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 60 min

#### 6.5.12. VPU X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 3 (HL3), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 90 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 116 representa la variación de las velocidades de paso de las ondas ultrasónicas tipo P, en cada octavo de las probetas, para cada tiempo de vibrado.

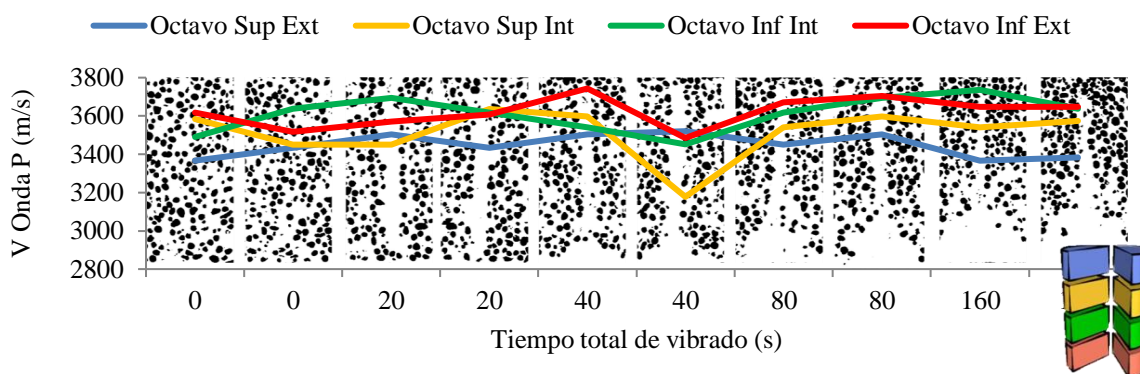


Figura 116 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 90 min

#### 6.5.13. VPU X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 4 (HL4), diseñado para una densidad teórica de  $1900 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 117 representa la variación de las velocidades de paso de las ondas ultrasónicas tipo P, en cada octavo de las probetas, para cada tiempo de vibrado.

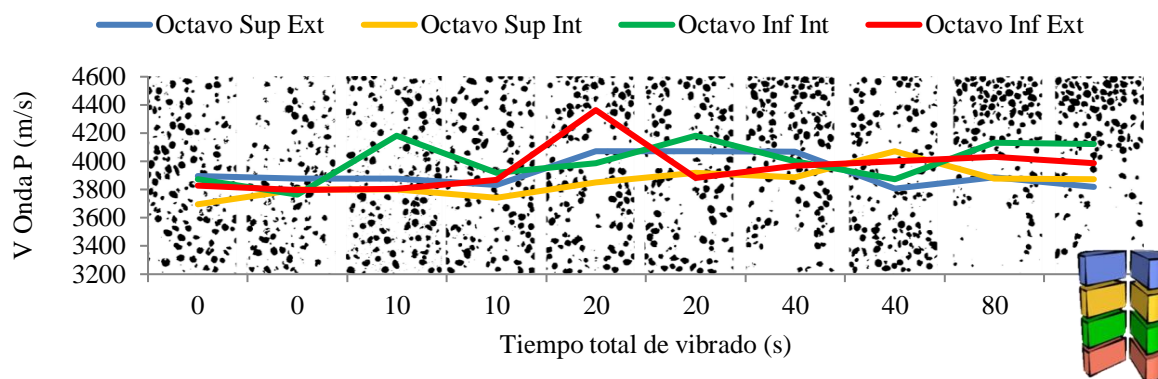


Figura 117 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 15 min

#### 6.5.14. VPU X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 4 (HL4), diseñado para una densidad teórica de  $1900 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 30 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 118 representa la variación de las velocidades de paso de las ondas ultrasónicas tipo P, en cada octavo de las probetas, para cada tiempo de vibrado.

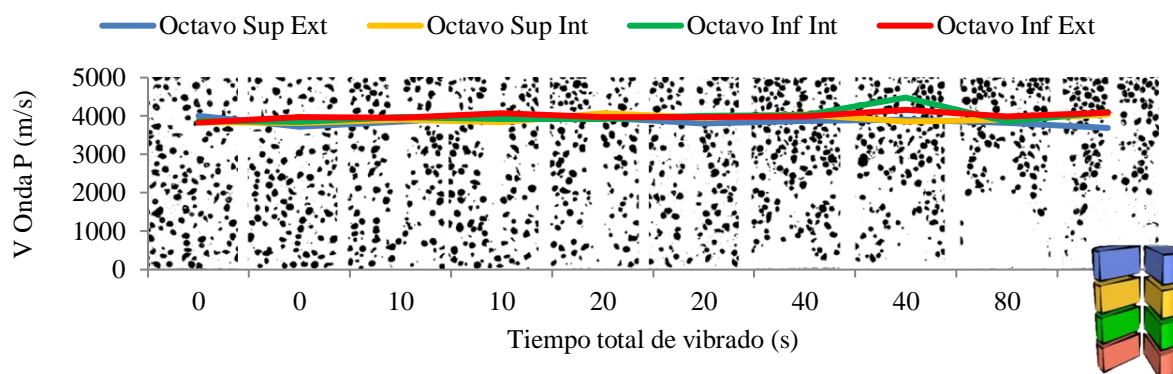


Figura 118 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 30 min

#### 6.5.15. VPU X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 4 (HL4), diseñado para una densidad teórica de  $1900 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 60 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 119 representa la variación de las velocidades de paso de las ondas ultrasónicas tipo P, en cada octavo de las probetas, para cada tiempo de vibrado.

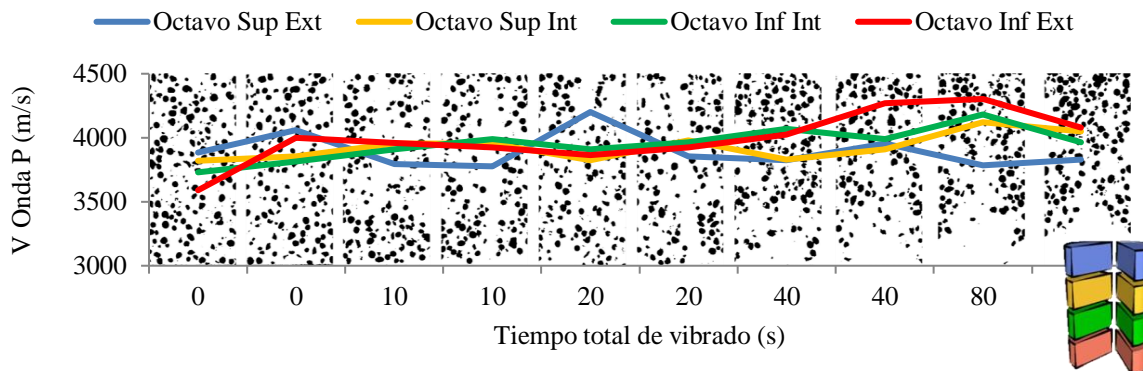


Figura 119 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 60 min

#### 6.5.16. VPU X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 4 (HL4), diseñado para una densidad teórica de  $1900 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 90 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 120 representa la variación de las velocidades de paso de las ondas ultrasónicas tipo P, en cada octavo de las probetas, para cada tiempo de vibrado.

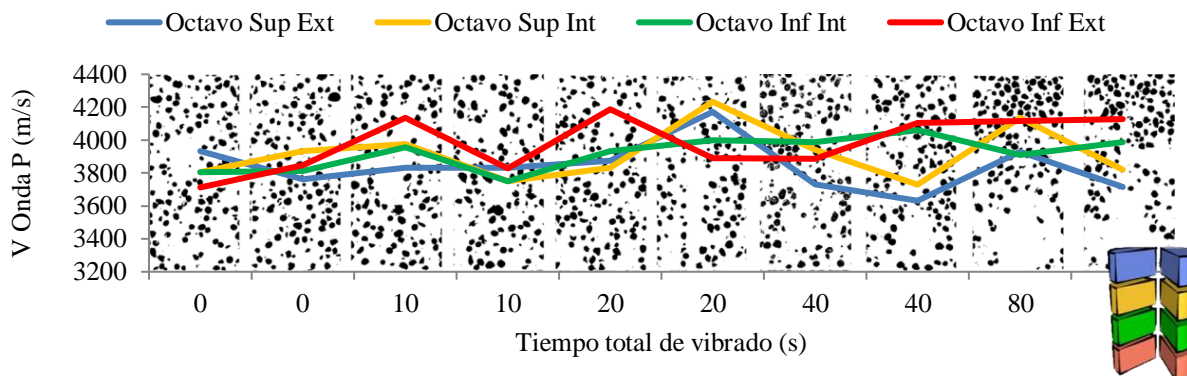


Figura 120 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 90 min

#### 6.5.17. VPU X TV - HORMIGÓN 5 (HL5), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 5 (HL5), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 121 representa la variación de las velocidades de paso de las ondas ultrasónicas tipo P, en cada octavo de las probetas, para cada tiempo de vibrado.



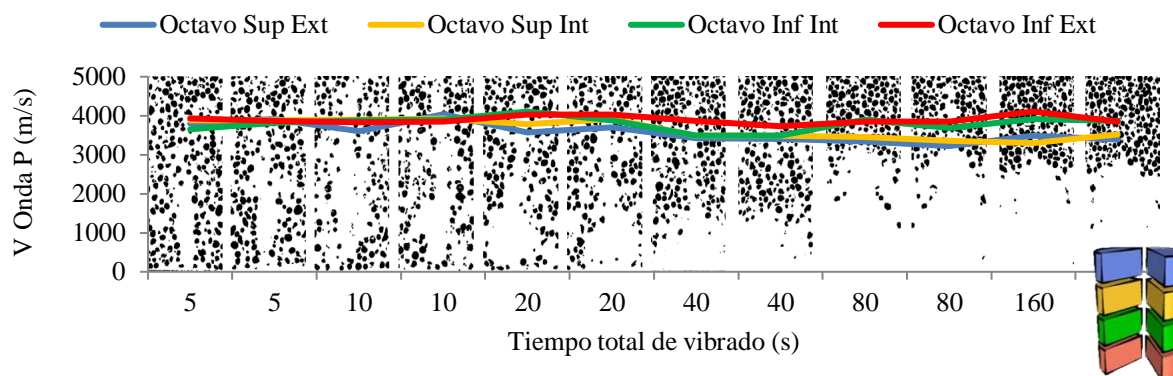


Figura 121 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 5 (HL5), tiempo de fabricación de 15 min

#### 6.5.18. VPU X TV - HORMIGÓN 6 (HL6), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 6 (HL6), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Laterlite LTM. La Figura 122 representa la variación de las velocidades de paso de las ondas ultrasónicas tipo P, en cada octavo de las probetas, para cada tiempo de vibrado.

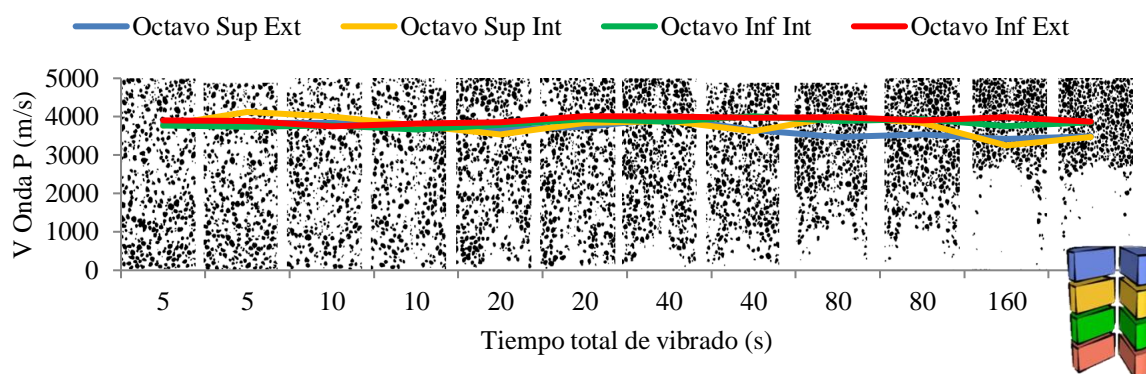


Figura 122 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 6 (HL6), tiempo de fabricación de 15 min

#### 6.5.19. VPU X TV - HORMIGÓN 7 (HL7), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 7 (HL7), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 123 representa la variación de las velocidades de paso de las ondas ultrasónicas tipo P, en cada octavo de las probetas, para cada tiempo de vibrado.



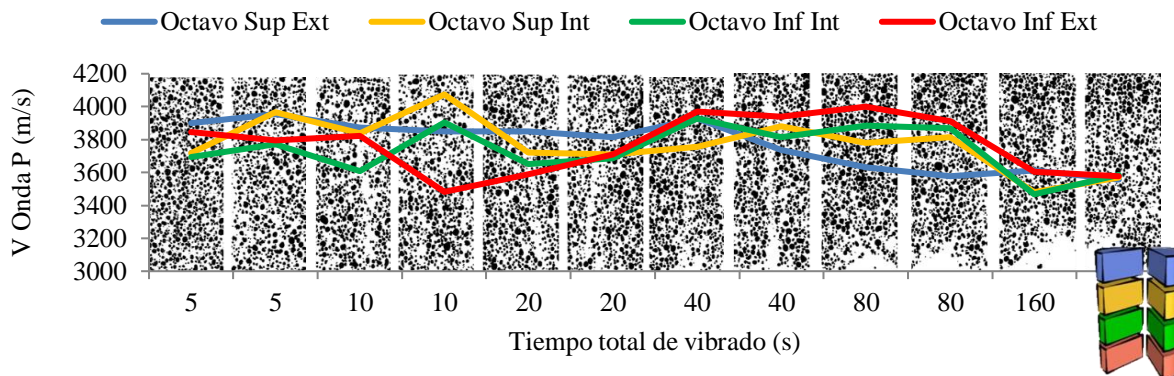


Figura 123 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 7 (HL7), tiempo de fabricación de 15 min

#### 6.5.20. VPU X TV - HORMIGÓN 8 (HL8), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 8 (HL8), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Laterlite LTHS. La Figura 124 representa la variación de las velocidades de paso de las ondas ultrasónicas tipo P, en cada octavo de las probetas, para cada tiempo de vibrado.

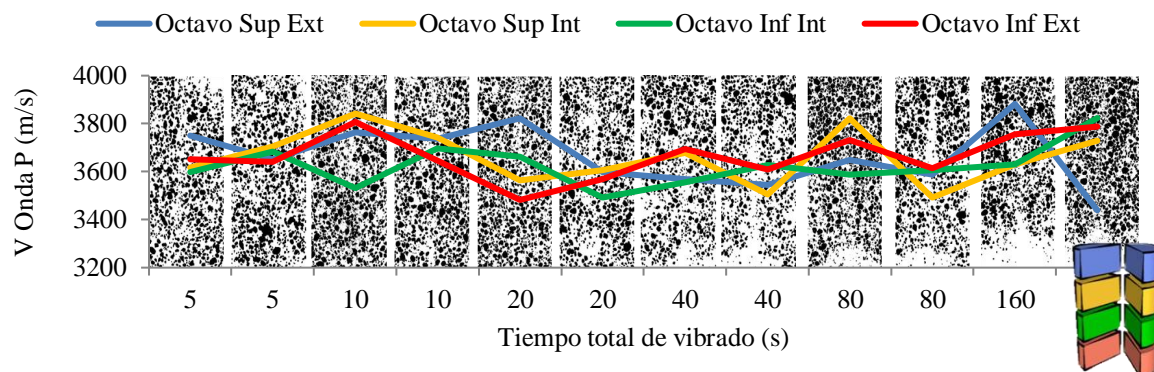


Figura 124 - Variación de la velocidad de paso de las ondas P, según los tiempos de vibrado para el hormigón 8 (HL8), tiempo de fabricación de 15 min

### 6.6. COMENTARIOS SOBRE LOS RESULTADOS DEL APARTADO 6.5

Los resultados de las velocidades de paso de las ondas de ultrasonido (ondas P) son complejos de analizar. En la grande mayoría de los casos (18/20) no existe un patrón de variación de las VPUs en función del tiempo de vibrado. Algunos pocos casos (HL1- 60 MIN y HL2-30 MIN) notase el incremento de las velocidades del octavo inferior (rojo) y el descenso de las velocidades del octavo superior (azul).



## 6.7. RESULTADOS: RESISTENCIA A COMPRESIÓN (FC) VERSUS TIEMPO DE VIBRADO (TV)

Hormigón	Densidad Teórica	Tiempo de Fabricación	Parámetro	Tiempo de vibrado total											
				0 s	0 s	10 s	10 s	20 s	20 s	40 s	40 s	80 s	80 s	160 s	160 s
	1700 kg/m3	15 min	Fc Octavo Sup Ext (Mpa)	19.0	18.0	-	-	18.0	26.0	23.0	20.0	22.0	24.0	21.0	20.0
			Fc Octavo Sup Int (Mpa)	23.0	18.0	-	-	20.0	21.0	22.0	18.0	24.0	18.0	18.0	20.0
			Fc Octavo Inf Int (Mpa)	19.0	19.0	-	-	15.0	18.0	26.0	16.0	20.0	21.0	20.0	18.0
			Fc Octavo Inf Ext (Mpa)	15.0	18.0	-	-	24.0	29.0	26.0	24.0	21.0	25.0	27.0	30.0
			Fc Oct Sup/ Fc Oct Inf	1.3	1.0	-	-	0.8	0.9	0.9	0.9	1.1	1.0	0.8	0.7
			Fc Mínimo (Mpa)	14.6	17.6	-	-	14.7	18.3	22.2	16.5	20.3	18.3	17.5	18.0
			Fc máximo	22.8	19.4	-	-	24.4	28.7	26.5	24.0	23.6	25.4	27.0	30.0
			Fc Medio (Mpa)	19.0	18.4	-	-	19.4	23.6	24.5	19.6	21.7	22.2	21.4	22.1
			Posición Sección Crítica	Octavo Inf Ext	Octavo Sup Int	-	-	Octavo Inf Int	Octavo Inf Int	Octavo Sup Int	Octavo Inf Int	Octavo Inf Int	Octavo Sup Int	Octavo Sup Int	Octavo Inf Int
			HL1	1700 kg/m3	30 min	Fc Octavo Sup Ext (Mpa)	27.0	20.0	-	-	23.0	27.0	20.0	21.0	21.0
Fc Octavo Sup Int (Mpa)	21.0	22.0				-	-	16.0	21.0	24.0	25.0	19.0	18.0	19.0	19.0
Fc Octavo Inf Int (Mpa)	25.0	29.0				-	-	20.0	29.0	14.0	15.0	23.0	21.0	24.0	22.0
Fc Octavo Inf Ext (Mpa)	25.0	19.0				-	-	27.0	31.0	27.0	23.0	26.0	25.0	30.0	26.0
Fc Oct Sup/ Fc Oct Inf	1.1	1.1				-	-	0.9	0.9	0.7	0.9	0.8	0.6	0.7	1.0
Fc Mínimo (Mpa)	21.4	18.8				-	-	15.6	20.7	14.4	15.0	19.2	15.4	19.0	19.0
Fc máximo	27.0	28.8				-	-	26.7	30.6	27.4	24.6	26.3	24.5	29.9	26.5
Fc Medio (Mpa)	24.8	22.3				-	-	21.4	26.7	21.4	20.9	22.4	19.8	23.5	23.3
Posición Sección Crítica	Octavo Sup Int	Octavo Inf Ext				-	-	Octavo Sup Int	Octavo Sup Int	Octavo Inf Int	Octavo Inf Int	Octavo Sup Int	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Int	Octavo Sup Int
HL1	1700 kg/m3	60 min				Fc Octavo Sup Ext (Mpa)	25.0	13.0	-	-	28.0	16.0	24.0	21.0	21.0
			Fc Octavo Sup Int (Mpa)	18.0	25.0	-	-	27.0	29.0	27.0	24.0	31.0	24.0	19.0	15.0
			Fc Octavo Inf Int (Mpa)	24.0	18.0	-	-	29.0	14.0	27.0	25.0	25.0	25.0	18.0	22.0
			Fc Octavo Inf Ext (Mpa)	19.0	20.0	-	-	20.0	26.0	21.0	22.0	33.0	33.0	29.0	28.0
			Fc Oct Sup/ Fc Oct Inf	1.3	0.7	-	-	1.4	0.6	1.1	1.0	0.7	0.7	0.7	0.5
			Fc Mínimo (Mpa)	18.1	13.2	-	-	20.1	14.5	21.2	20.9	21.3	21.2	17.7	13.0
			Fc máximo	24.7	25.4	-	-	29.0	28.7	27.1	24.6	32.8	32.8	28.7	27.5
			Fc Medio (Mpa)	21.5	19.1	-	-	26.2	21.4	24.7	22.9	27.4	25.8	21.2	19.3
			Posición Sección Crítica	Octavo Sup Int	Octavo Sup Ext	-	-	Octavo Inf Ext	Octavo Inf Int	Octavo Inf Ext	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext	Octavo Inf Int	Octavo Sup Ext
			HL1	1700 kg/m3	90 min	Fc Octavo Sup Ext (Mpa)	24.0	23.0	-	-	26.0	18.0	25.0	29.0	20.0
Fc Octavo Sup Int (Mpa)	25.0	24.0				-	-	28.0	23.0	24.0	20.0	21.0	24.0	20.0	23.0



**El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros.  
Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.**



HL2	1900 kg/m3	15 min	Fc Octavo Inf Int (Mpa)	22.0	25.0	-	-	23.0	20.0	22.0	16.0	26.0	24.0	25.0	33.0
			Fc Octavo Inf Ext (Mpa)	27.0	25.0	-	-	24.0	24.0	28.0	29.0	28.0	31.0	34.0	34.0
			Fc Oct Sup/ Fc Oct Inf	0.9	0.9	-	-	1.1	0.8	0.9	1.0	0.7	0.5	0.7	0.6
			Fc Mínimo (Mpa)	22.5	23.1	-	-	22.6	18.4	22.2	16.5	20.1	15.0	19.7	19.8
			Fc máximo	26.8	25.4	-	-	27.8	24.0	27.8	29.3	28.2	30.9	33.7	34.1
			Fc Medio (Mpa)	24.8	24.2	-	-	25.2	21.3	24.7	23.7	23.8	23.5	25.3	27.2
			Posición Sección Crítica	Octavo Inf Int	Octavo Sup Ext	-	-	Octavo Inf Int	Octavo Sup Ext	Octavo Inf Int	Octavo Inf Int	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Int	Octavo Sup Ext
			Fc Octavo Sup Ext (Mpa)	19.0	26.0	-	-	32.0	35.0	36.0	40.0	35.0	27.0	28.0	20.0
			Fc Octavo Sup Int (Mpa)	30.0	27.0	-	-	39.0	35.0	35.0	35.0	32.0	35.0	32.0	39.0
			Fc Octavo Inf Int (Mpa)	29.0	34.0	-	-	29.0	34.0	35.0	36.0	29.0	30.0	30.0	24.0
			Fc Octavo Inf Ext (Mpa)	25.0	28.0	-	-	39.0	38.0	34.0	33.0	39.0	39.0	44.0	35.0
			Fc Oct Sup/ Fc Oct Inf	0.8	0.9	-	-	0.8	0.9	1.1	1.2	0.9	0.7	0.7	0.6
			Fc Mínimo (Mpa)	18.6	25.6	-	-	29.4	34.1	33.6	32.5	29.0	27.3	28.3	19.6
			Fc máximo	29.7	34.3	-	-	38.6	37.9	35.7	40.0	38.6	39.4	43.8	39.3
			Fc Medio (Mpa)	25.5	28.9	-	-	34.6	35.6	34.9	35.8	33.5	33.0	33.6	29.5
			Posición Sección Crítica	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext	-	-	Octavo Inf Int	Octavo Inf Int	Octavo Inf Ext	Octavo Inf Ext	Octavo Inf Int	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext
	1900 kg/m3	30 min	Fc Octavo Sup Ext (Mpa)	32.0	34.0	-	-	31.0	32.0	36.0	31.0	28.0	30.0	33.0	30.0
			Fc Octavo Sup Int (Mpa)	28.0	31.0	-	-	31.0	32.0	28.0	38.0	26.0	37.0	31.0	39.0
			Fc Octavo Inf Int (Mpa)	22.0	26.0	-	-	34.0	39.0	28.0	31.0	38.0	39.0	30.0	30.0
			Fc Octavo Inf Ext (Mpa)	37.0	27.0	-	-	38.0	29.0	35.0	41.0	34.0	51.0	42.0	32.0
			Fc Oct Sup/ Fc Oct Inf	0.9	1.3	-	-	0.8	1.1	1.0	0.8	0.8	0.6	0.8	0.9
			Fc Mínimo (Mpa)	22.1	26.4	-	-	30.9	29.4	27.5	30.7	26.1	30.4	30.5	29.9
			Fc máximo	36.6	34.3	-	-	38.2	39.3	35.9	41.1	37.6	50.7	41.9	39.3
			Fc Medio (Mpa)	29.6	29.7	-	-	33.6	33.3	31.8	35.2	31.6	39.4	34.0	32.9
			Posición Sección Crítica	Octavo Inf Int	Octavo Inf Int	-	-	Octavo Sup Ext	Octavo Inf Ext	Octavo Inf Int	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Int	Octavo Sup Ext	Octavo Inf Int	Octavo Inf Int
			Fc Octavo Sup Ext (Mpa)	33.0	21.0	-	-	30.0	26.0	31.0	31.0	22.0	37.0	30.0	24.0
			Fc Octavo Sup Int (Mpa)	20.0	18.0	-	-	33.0	29.0	27.0	27.0	34.0	33.0	31.0	35.0
			Fc Octavo Inf Int (Mpa)	31.0	38.0	-	-	26.0	35.0	25.0	36.0	30.0	33.0	39.0	43.0
			Fc Octavo Inf Ext (Mpa)	32.0	29.0	-	-	21.0	39.0	31.0	39.0	23.0	30.0	40.0	45.0
			Fc Oct Sup/ Fc Oct Inf	1.0	0.7	-	-	1.4	0.7	1.0	0.8	1.0	1.2	0.8	0.5
			Fc Mínimo (Mpa)	20.1	18.1	-	-	20.8	26.2	25.2	26.8	21.9	30.1	29.6	24.0
			Fc máximo	32.7	38.2	-	-	33.0	38.8	31.2	38.6	33.6	37.4	39.6	44.8
			Fc Medio (Mpa)	29.0	26.6	-	-	27.3	32.1	28.7	33.1	27.2	33.4	34.7	36.7



**El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros.  
Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.**



			Posición Sección Crítica	Octavo Sup Int	Octavo Sup Int	-	-	Octavo Inf Ext	Octavo Sup Ext	Octavo Inf Int	Octavo Sup Int	Octavo Sup Ext	Octavo Inf Ext	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext
HL2	1900 kg/m3	90 min	Fc Octavo Sup Ext (Mpa)	32.0	36.0	-	-	32.0	36.0	30.0	29.0	35.0	36.0	31.0	34.0
			Fc Octavo Sup Int (Mpa)	35.0	35.0	-	-	32.0	37.0	29.0	39.0	37.0	34.0	40.0	37.0
			Fc Octavo Inf Int (Mpa)	32.0	31.0	-	-	34.0	38.0	36.0	36.0	37.0	34.0	31.0	24.0
			Fc Octavo Inf Ext (Mpa)	35.0	26.0	-	-	35.0	36.0	33.0	33.0	39.0	37.0	39.0	31.0
			Fc Oct Sup/ Fc Oct Inf	0.9	1.4	-	-	0.9	1.0	0.9	0.9	0.9	1.0	0.8	1.1
			Fc Mínimo (Mpa)	31.5	25.5	-	-	32.3	35.6	29.4	28.9	34.6	33.6	31.1	24.5
			Fc máximo	34.9	35.6	-	-	35.1	38.4	35.5	38.7	39.0	37.0	39.5	36.7
			Fc Medio (Mpa)	33.2	31.7	-	-	33.5	36.6	32.2	34.1	36.9	35.3	35.2	31.5
			Posición Sección Crítica	Octavo Sup Ext	Octavo Inf Ext	-	-	Octavo Sup Int	Octavo Inf Ext	Octavo Sup Int	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext	Octavo Inf Int	Octavo Inf Int	Octavo Inf Int
HL3	1700 kg/m3	15 min	Fc Octavo Sup Ext (Mpa)	9.0	12.0	19.0	13.0	10.0	9.0	12.0	12.0	6.0	8.0	-	-
			Fc Octavo Sup Int (Mpa)	13.0	11.0	14.0	14.0	10.0	9.0	13.0	16.0	14.0	10.0	-	-
			Fc Octavo Inf Int (Mpa)	8.0	12.0	15.0	20.0	13.0	7.0	12.0	15.0	15.0	15.0	-	-
			Fc Octavo Inf Ext (Mpa)	15.0	17.0	21.0	23.0	21.0	14.0	29.0	36.0	29.0	28.0	-	-
			Fc Oct Sup/ Fc Oct Inf	0.6	0.7	0.9	0.6	0.5	0.7	0.4	0.3	0.2	0.3	-	-
			Fc Mínimo (Mpa)	8.2	11.3	14.0	12.8	9.6	7.4	12.2	11.7	6.5	7.7	-	-
			Fc máximo	15.2	16.9	20.7	22.7	21.3	13.8	28.8	35.5	29.4	28.4	-	-
			Fc Medio (Mpa)	11.2	13.2	17.2	17.3	13.5	9.9	16.5	19.6	16.3	15.4	-	-
			Posición Sección Crítica	Octavo Inf Int	Octavo Sup Int	Octavo Sup Int	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Int	Octavo Inf Int	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext	-	-
HL3	1700 kg/m3	30 min	Fc Octavo Sup Ext (Mpa)	12.0	12.0	13.0	12.0	16.0	17.0	13.0	11.0	3.0	5.0	-	-
			Fc Octavo Sup Int (Mpa)	9.0	12.0	10.0	11.0	17.0	15.0	14.0	13.0	5.0	7.0	-	-
			Fc Octavo Inf Int (Mpa)	11.0	13.0	12.0	10.0	10.0	16.0	16.0	17.0	9.0	14.0	-	-
			Fc Octavo Inf Ext (Mpa)	14.0	13.0	11.0	13.0	24.0	21.0	36.0	17.0	28.0	31.0	-	-
			Fc Oct Sup/ Fc Oct Inf	0.8	0.9	1.1	0.9	0.7	0.8	0.4	0.7	0.1	0.2	-	-
			Fc Mínimo (Mpa)	9.0	11.8	9.7	9.9	10.2	14.5	12.7	11.1	3.0	5.1	-	-
			Fc máximo	14.5	13.1	12.8	13.4	23.5	21.1	36.2	17.1	28.1	31.3	-	-
			Fc Medio (Mpa)	11.5	12.3	11.5	11.6	16.9	17.0	19.6	14.5	11.3	14.4	-	-
			Posición Sección Crítica	Octavo Sup Int	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Int	Octavo Inf Int	Octavo Inf Int	Octavo Sup Int	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext	-	-
HL3	1700 kg/m3	60 min	Fc Octavo Sup Ext (Mpa)	12.0	15.0	14.0	19.0	18.0	17.0	10.0	10.0	7.0	9.0	-	-
			Fc Octavo Sup Int (Mpa)	14.0	12.0	11.0	17.0	15.0	16.0	8.0	11.0	8.0	10.0	-	-
			Fc Octavo Inf Int (Mpa)	15.0	11.0	10.0	16.0	19.0	20.0	11.0	13.0	14.0	10.0	-	-
			Fc Octavo Inf Ext (Mpa)	14.0	11.0	23.0	24.0	18.0	17.0	13.0	18.0	31.0	26.0	-	-
			Fc Oct Sup/ Fc Oct Inf	0.9	1.4	0.6	0.8	1.0	1.0	0.8	0.6	0.2	0.3	-	-



**El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros.  
Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.**



			Fc Mínimo (Mpa)	11.7	10.7	9.7	16.5	14.7	16.1	7.6	10.3	7.3	9.0	-	-
			Fc máximo	14.8	15.2	23.3	23.9	19.0	20.0	13.2	18.0	30.7	26.1	-	-
			Fc Medio (Mpa)	13.4	12.3	14.4	19.1	17.4	17.4	10.5	13.1	15.0	13.7	-	-
			Posición Sección Crítica	Octavo Sup Ext	Octavo Inf Ext	Octavo Inf Int	Octavo Inf Int	Octavo Sup Int	Octavo Sup Int	Octavo Sup Int	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext	-	-
HL3	1700 kg/m3	90 min	Fc Octavo Sup Ext (Mpa)	15.0	13.0	12.0	18.0	9.0	11.0	12.0	10.0	8.0	10.0	-	-
			Fc Octavo Sup Int (Mpa)	14.0	11.0	14.0	15.0	15.0	14.0	9.0	6.0	14.0	10.0	-	-
			Fc Octavo Inf Int (Mpa)	16.0	12.0	17.0	17.0	12.0	13.0	16.0	11.0	18.0	9.0	-	-
			Fc Octavo Inf Ext (Mpa)	9.0	16.0	16.0	13.0	15.0	17.0	10.0	20.0	27.0	32.0	-	-
			Fc Oct Sup/ Fc Oct Inf	1.6	0.8	0.7	1.4	0.6	0.6	1.2	0.5	0.3	0.3	-	-
			Fc Mínimo (Mpa)	9.4	10.9	11.6	12.8	9.0	11.0	9.3	6.1	7.7	8.9	-	-
			Fc máximo	16.1	15.9	17.3	17.7	15.2	17.2	16.0	19.8	27.1	32.1	-	-
			Fc Medio (Mpa)	13.5	12.9	14.6	15.5	12.9	13.6	11.9	11.8	16.6	15.1	-	-
			Posición Sección Crítica	Octavo Inf Ext	Octavo Sup Int	Octavo Sup Ext	Octavo Inf Ext	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Int	Octavo Sup Int	Octavo Sup Ext	Octavo Inf Int	-	-
HL4	1900 kg/m3	15 min	Fc Octavo Sup Ext (Mpa)	11.0	11.0	20.0	18.0	12.0	10.0	13.0	10.0	8.0	9.0	-	-
			Fc Octavo Sup Int (Mpa)	15.0	16.0	14.0	13.0	17.0	16.0	14.0	8.0	14.0	16.0	-	-
			Fc Octavo Inf Int (Mpa)	15.0	15.0	21.0	14.0	19.0	15.0	16.0	13.0	18.0	16.0	-	-
			Fc Octavo Inf Ext (Mpa)	17.0	19.0	15.0	18.0	18.0	18.0	29.0	21.0	24.0	35.0	-	-
			Fc Oct Sup/ Fc Oct Inf	0.6	0.6	1.4	1.0	0.7	0.6	0.4	0.5	0.3	0.3	-	-
			Fc Mínimo (Mpa)	10.6	10.7	14.4	12.6	11.6	10.3	12.9	8.4	7.9	8.8	-	-
			Fc máximo	17.2	18.8	20.9	18.4	18.8	18.0	29.1	20.9	23.8	34.8	-	-
			Fc Medio (Mpa)	14.3	15.0	17.5	15.8	16.3	14.8	17.9	13.1	16.1	18.7	-	-
			Posición Sección Crítica	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Int	Octavo Sup Int	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Int	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext	-	-
HL4	1900 kg/m3	30 min	Fc Octavo Sup Ext (Mpa)	18.0	22.0	21.0	20.0	8.0	10.0	11.0	7.0	12.0	10.0	-	-
			Fc Octavo Sup Int (Mpa)	10.0	18.0	16.0	19.0	11.0	9.0	11.0	17.0	12.0	9.0	-	-
			Fc Octavo Inf Int (Mpa)	15.0	24.0	22.0	30.0	12.0	9.0	15.0	18.0	20.0	25.0	-	-
			Fc Octavo Inf Ext (Mpa)	16.0	21.0	14.0	35.0	11.0	12.0	30.0	23.0	28.0	27.0	-	-
			Fc Oct Sup/ Fc Oct Inf	1.1	1.1	1.5	0.6	0.8	0.9	0.4	0.3	0.4	0.4	-	-
			Fc Mínimo (Mpa)	10.2	18.0	14.3	19.2	8.4	9.1	10.8	7.4	11.5	9.1	-	-
			Fc máximo	18.1	24.5	22.4	35.0	11.8	12.4	30.0	22.7	28.4	27.1	-	-
			Fc Medio (Mpa)	15.0	21.5	18.4	26.1	10.4	10.3	16.8	16.3	18.1	17.8	-	-
			Posición Sección Crítica	Octavo Sup Int	Octavo Sup Int	Octavo Inf Ext	Octavo Sup Int	Octavo Sup Ext	Octavo Inf Int	Octavo Sup Int	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Int	Octavo Sup Int	-	-
HL4	1900 kg/m3	60 min	Fc Octavo Sup Ext (Mpa)	15.0	10.0	5.0	6.0	10.0	9.0	15.0	18.0	13.0	16.0	-	-
			Fc Octavo Sup Int (Mpa)	12.0	18.0	8.0	10.0	9.0	9.0	15.0	16.0	14.0	17.0	-	-





**El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros.  
Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.**



			Fc Octavo Inf Int (Mpa)	14.0	19.0	6.0	8.0	8.0	9.0	8.0	19.0	15.0	15.0	-	-
			Fc Octavo Inf Ext (Mpa)	12.0	9.0	12.0	11.0	12.0	14.0	19.0	24.0	25.0	29.0	-	-
			Fc Oct Sup/ Fc Oct Inf	1.2	1.1	0.5	0.5	0.8	0.6	0.8	0.8	0.5	0.6	-	-
			Fc Mínimo (Mpa)	12.2	9.3	5.5	5.5	7.8	9.0	8.5	15.9	12.6	14.7	-	-
			Fc máximo	14.6	19.4	12.0	10.8	12.1	14.1	19.5	24.2	25.3	29.5	-	-
			Fc Medio (Mpa)	13.2	14.2	7.9	8.6	9.7	10.3	14.5	19.5	16.7	19.4	-	-
			Posición Sección Crítica	Octavo Inf Ext	Octavo Inf Ext	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Ext	Octavo Inf Int	Octavo Sup Ext	Octavo Inf Int	Octavo Sup Int	Octavo Sup Ext	Octavo Inf Int	-	-
HL4	1900 kg/m3	90 min	Fc Octavo Sup Ext (Mpa)	23.0	19.0	20.0	16.0	21.0	21.0	18.0	16.0	11.0	12.0	-	-
			Fc Octavo Sup Int (Mpa)	12.0	22.0	13.0	14.0	17.0	24.0	16.0	16.0	19.0	10.0	-	-
			Fc Octavo Inf Int (Mpa)	16.0	20.0	18.0	11.0	11.0	17.0	25.0	26.0	18.0	30.0	-	-
			Fc Octavo Inf Ext (Mpa)	21.0	15.0	19.0	23.0	19.0	18.0	23.0	31.0	25.0	28.0	-	-
			Fc Oct Sup/ Fc Oct Inf	1.1	1.2	1.1	0.7	1.1	1.2	0.8	0.5	0.4	0.4	-	-
			Fc Mínimo (Mpa)	11.6	15.1	13.5	11.5	10.8	16.9	15.7	15.8	10.7	9.6	-	-
			Fc máximo	22.8	22.0	20.2	23.4	21.1	24.2	24.7	30.5	25.3	30.0	-	-
			Fc Medio (Mpa)	17.9	19.0	17.6	16.3	17.1	19.9	20.3	22.2	18.4	20.0	-	-
			Posición Sección Crítica	Octavo Sup Int	Octavo Inf Ext	Octavo Sup Int	Octavo Inf Int	Octavo Inf Int	Octavo Inf Int	Octavo Sup Int	Octavo Sup Int	Octavo Sup Ext	Octavo Sup Int	-	-

**Tabla 15 - Resultados: resistencias a compresión, de acuerdo con las propiedades de cada hormigón y el tiempo de vibrado.**



### 6.7.1. FC X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 1 (HL1), diseñado para una densidad teórica de 1700 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 125 representa la variación de las resistencias a compresión obtenidas para los testigos extraídos de cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado. La Figura 126 representa la variación de la relación  $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta y la Figura 127 representa la variación de los Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado.

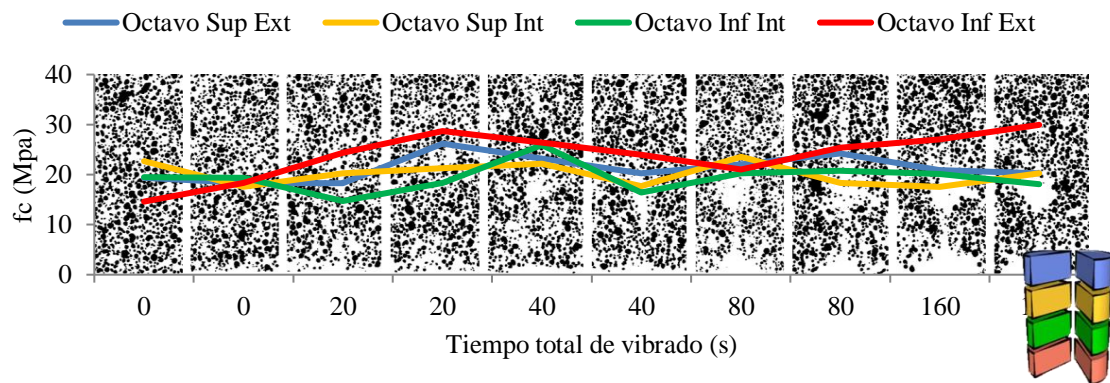


Figura 125 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 15 min

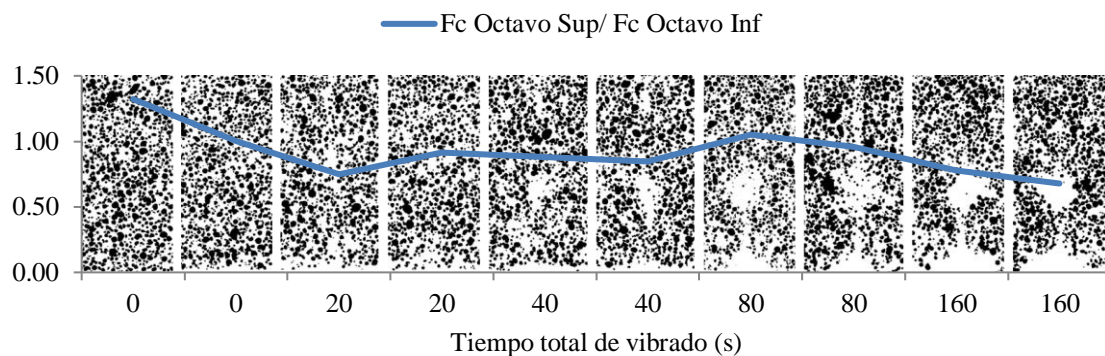


Figura 126 - Variación de la relación  $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 15 min

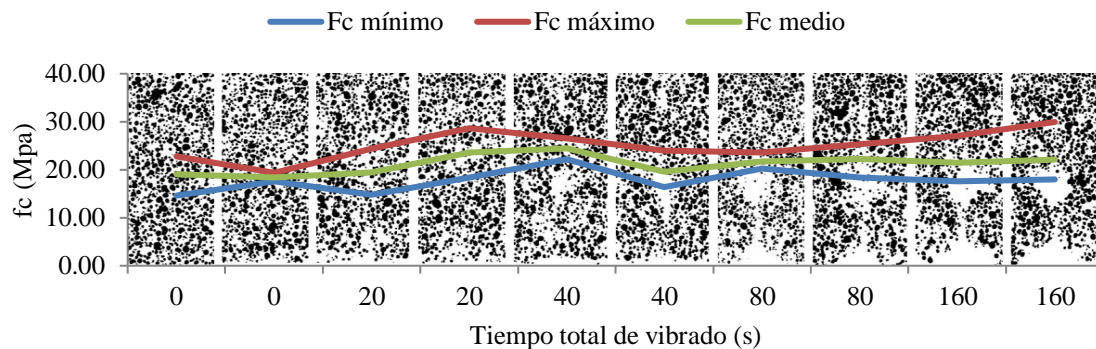


Figura 127 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 15 min

#### 6.7.2.FC X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 1 (HL1), diseñado para una densidad teórica de 1700 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 30 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 128 representa la variación de las resistencias a compresión obtenidas para los testigos extraídos de cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado. La Figura 129 representa la variación de la relación  $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta y la Figura 130Figura 127 representa la variación de los Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado.

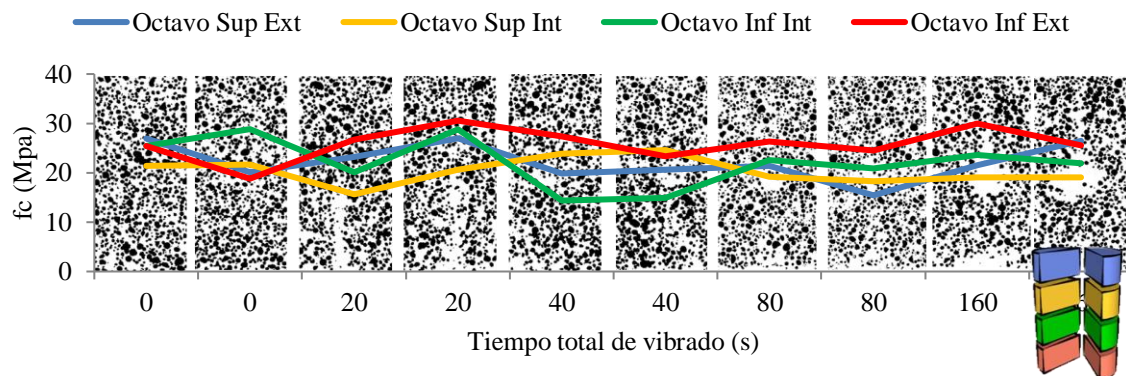
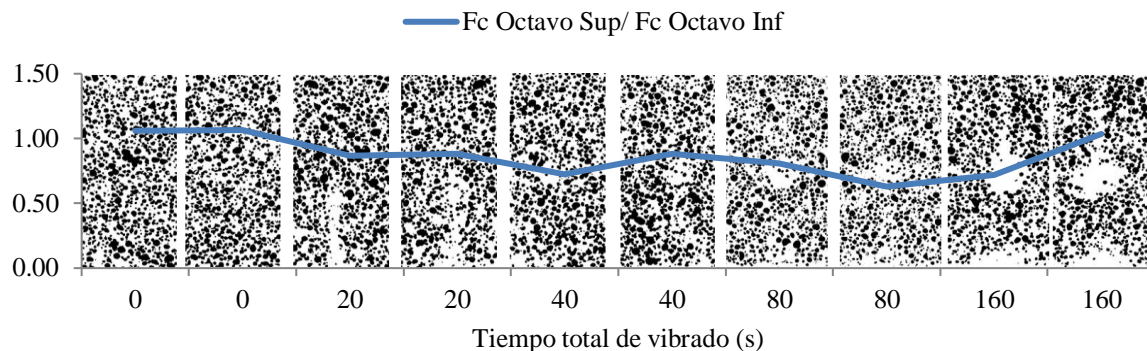
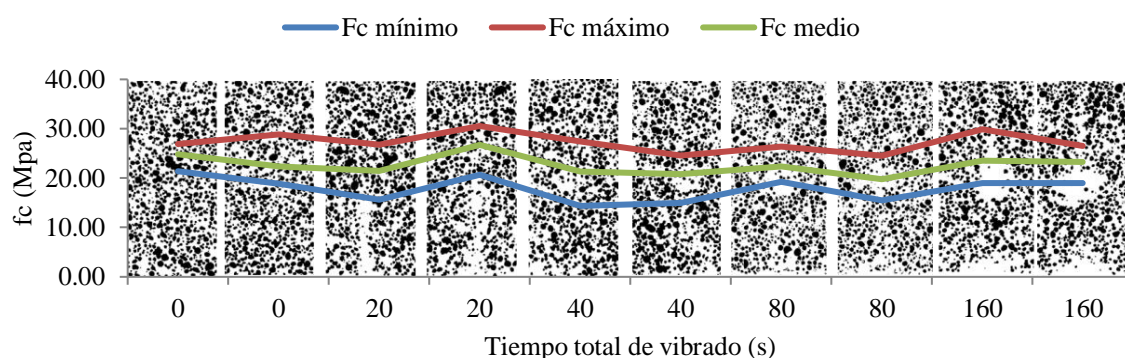


Figura 128 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 30 min



**Figura 129 - Variación de la relación  $f_{c\text{Octavo superior}}/f_{c\text{Octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 30 min**



**Figura 130 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 30 min**

### 6.7.3.FC X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 1 (HL1), diseñado para una densidad teórica de 1700 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 60 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 131 representa la variación de las resistencias a compresión obtenidas para los testigos extraídos de cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado. La Figura 132 representa la variación de la relación  $f_{c\text{Octavo superior}}/f_{c\text{Octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta y la Figura 133 representa la variación de los Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado.



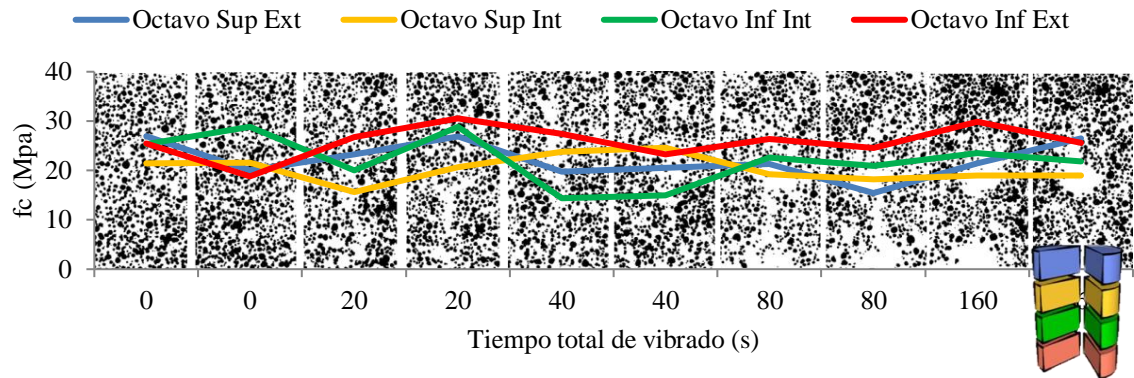


Figura 131 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min

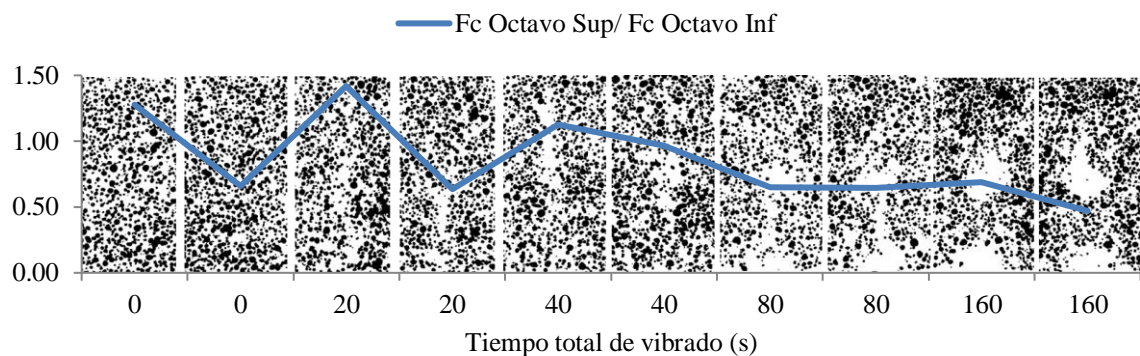


Figura 132 - Variación de la relación  $f_{c\text{ octavo superior}} / f_{c\text{ octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min

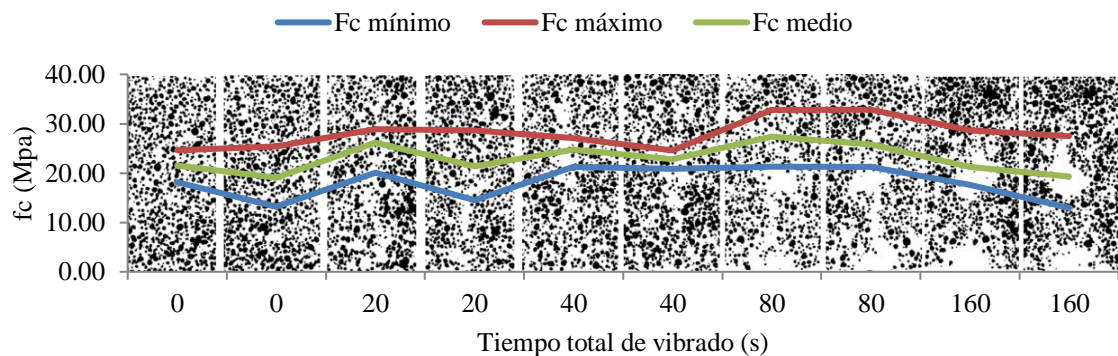


Figura 133 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 60 min

#### 6.7.4.FC X TV - HORMIGÓN 1 (HL1), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 1 (HL1), diseñado para una densidad teórica de 1700 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 90 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 134 representa la variación de las resistencias





a compresión obtenidas para los testigos extraídos de cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado. La Figura 135 representa la variación de la relación  $f_{c\text{octavo superior}}/f_{c\text{octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta y la Figura 136 representa la variación de los Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado.

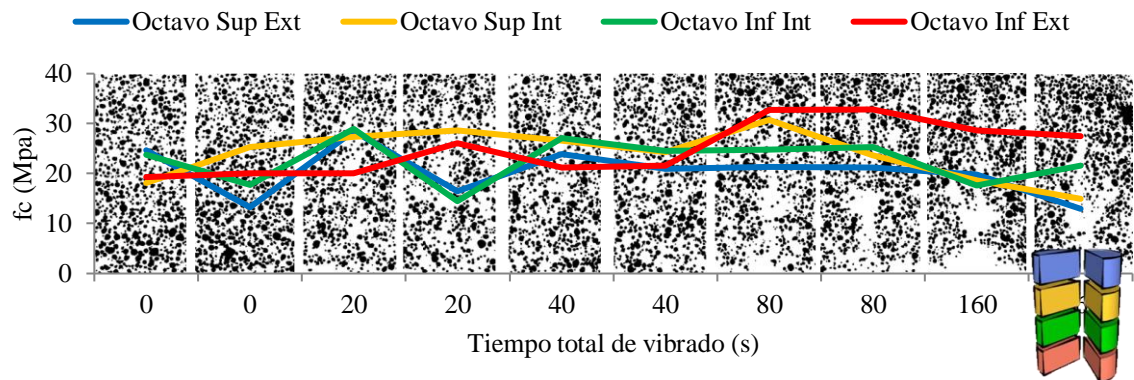


Figura 134 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 90 min

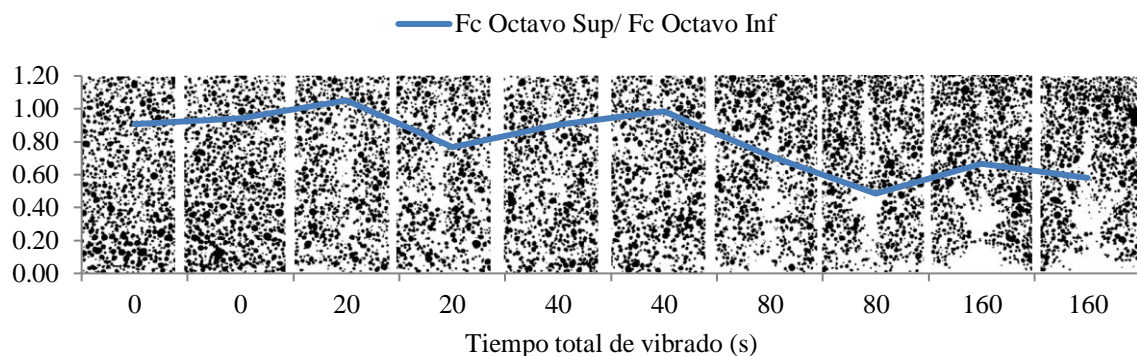


Figura 135 - Variación de la relación  $f_{c\text{octavo superior}}/f_{c\text{octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 90 min

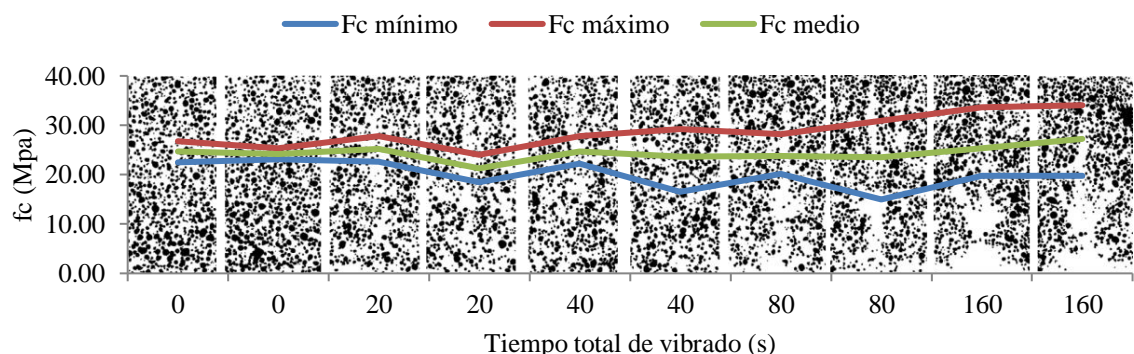


Figura 136 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 1 (HL1), tiempo de fabricación de 90 min



### 6.7.5.FC X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 2 (HL2), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 137 representa la variación de las resistencias a compresión obtenidas para los testigos extraídos de cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado. La Figura 138 representa la variación de la relación  $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta y la Figura 139 representa la variación de los Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado.

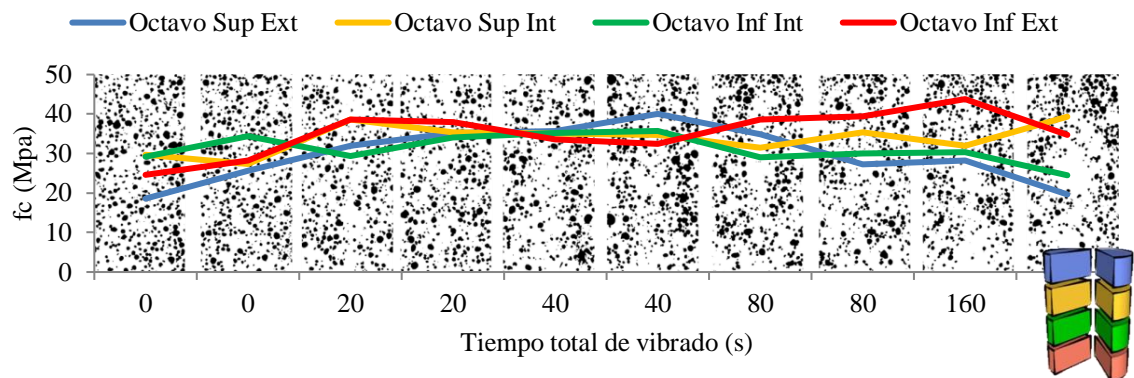


Figura 137 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 15 min

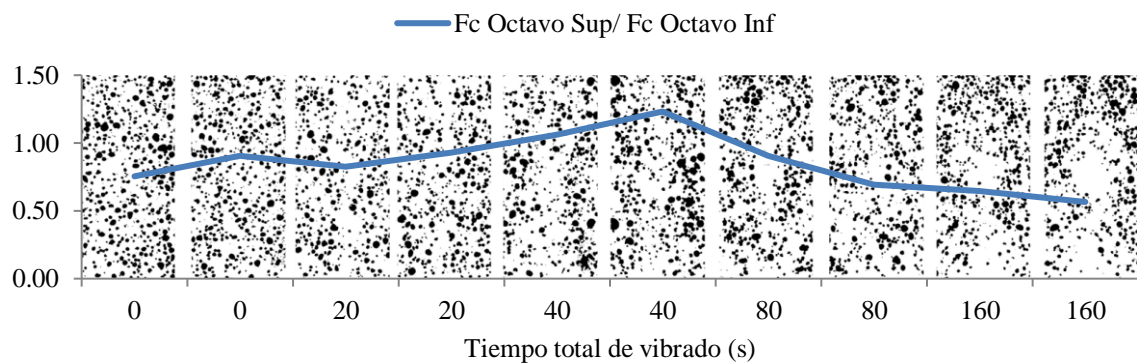


Figura 138 - Variación de la relación  $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 15 min

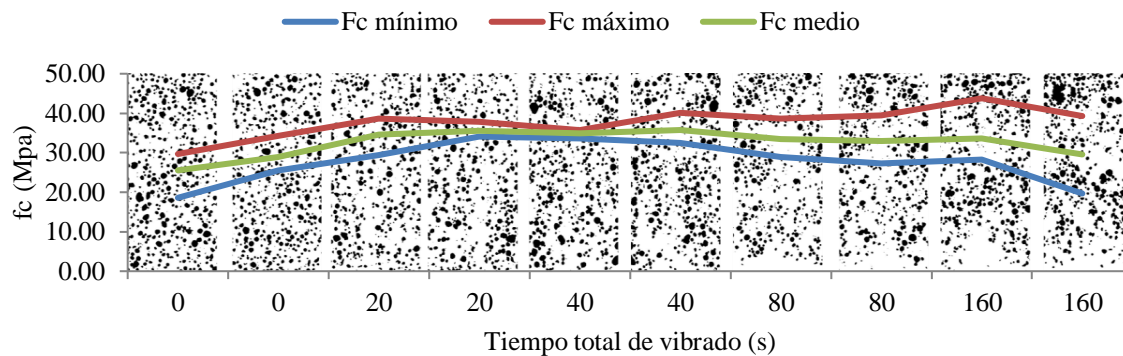


Figura 139 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 15 min

#### 6.7.6.FC X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 2 (HL2), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 30 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 140 representa la variación de las resistencias a compresión obtenidas para los testigos extraídos de cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado. La Figura 141 representa la variación de la relación  $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta y la Figura 142 representa la variación de los Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado.

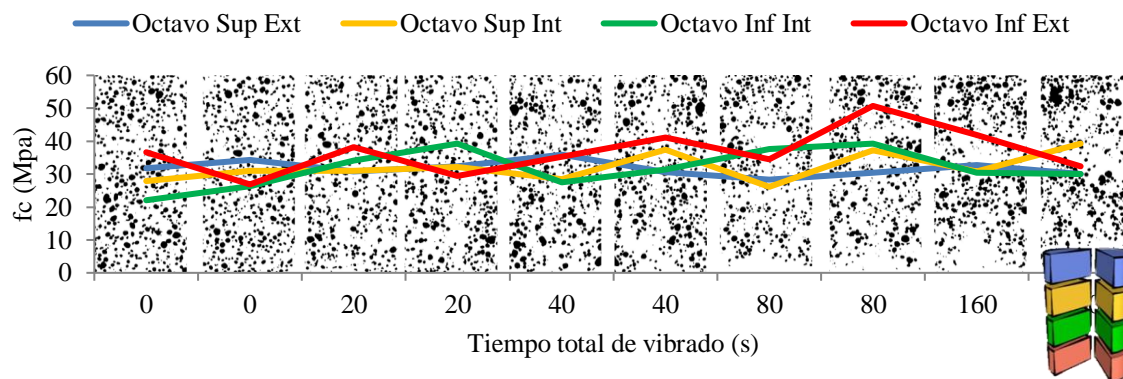
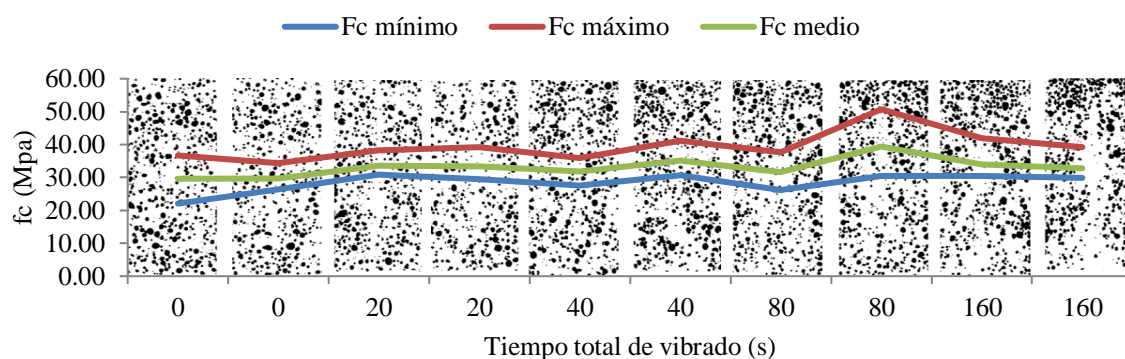
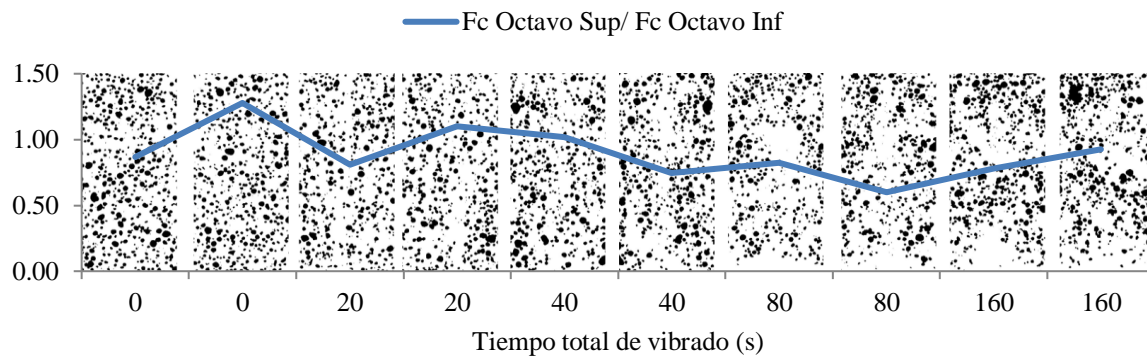


Figura 140 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 30 min





#### 6.7.7.FC X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 2 (HL2), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 60 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 143 representa la variación de las resistencias a compresión obtenidas para los testigos extraídos de cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado. La Figura 144 representa la variación de la relación  $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta y la Figura 145 representa la variación de los Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado.

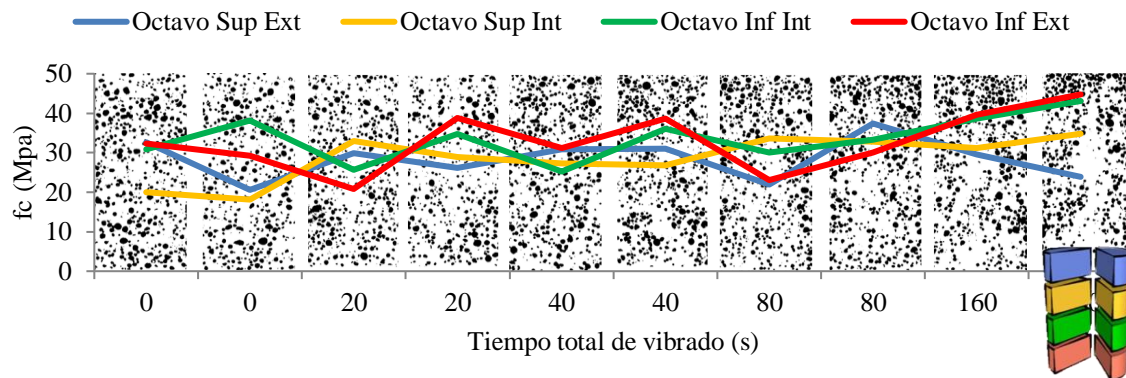


Figura 143 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 60 min

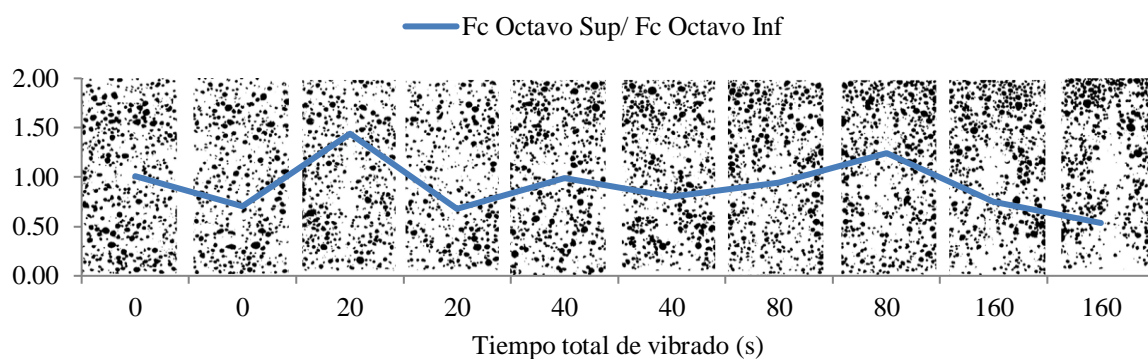


Figura 144 - Variación de la relación  $fc_{\text{Octavo superior}}/fc_{\text{Octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 60 min

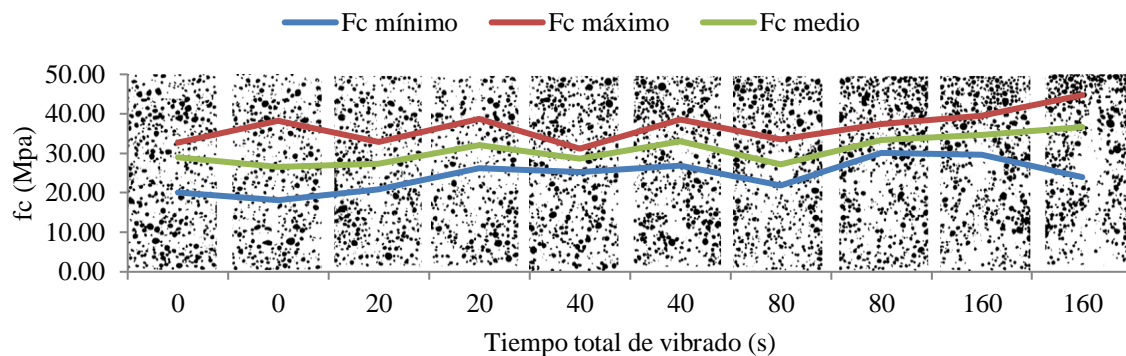


Figura 145 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 60 min

#### 6.7.8.FC X TV - HORMIGÓN 2 (HL2), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 2 (HL2), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en dos capas, con tiempo de fabricación de 90 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca HS. La Figura 146 representa la variación de las resistencias





a compresión obtenidas para los testigos extraídos de cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado. La Figura 147 representa la variación de la relación  $f_{c\text{Octavo superior}}/f_{c\text{Octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta y la Figura 148 representa la variación de los Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado.

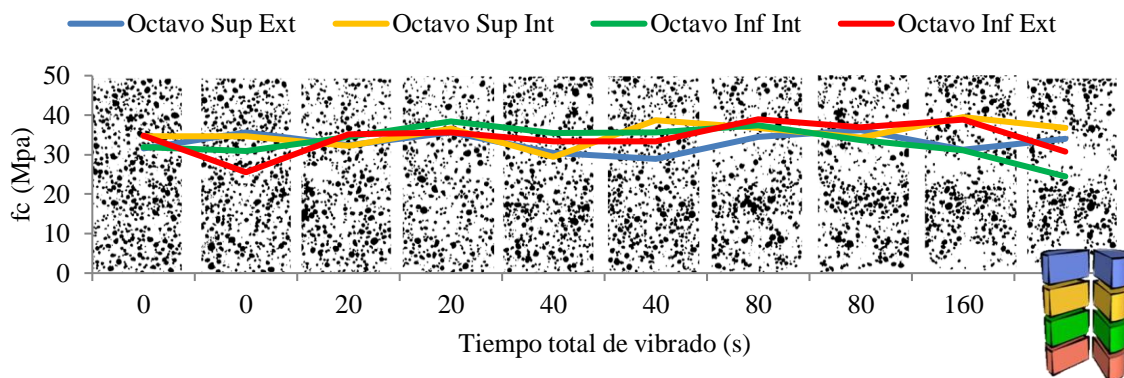


Figura 146 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 90 min

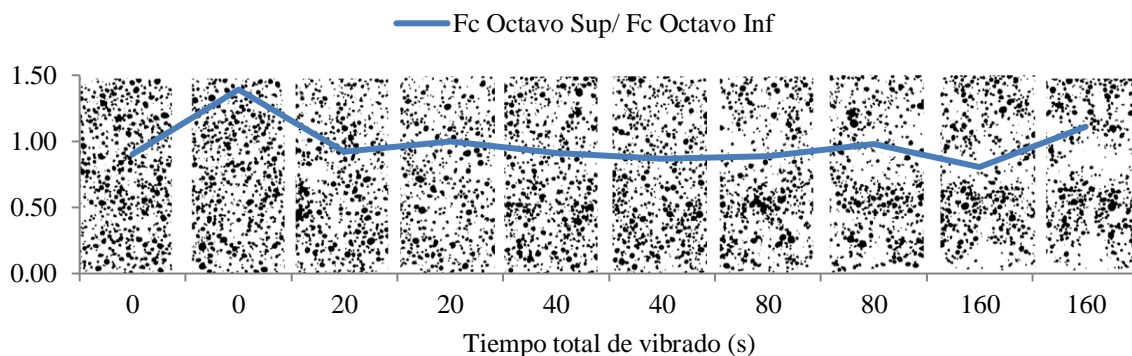


Figura 147 - Variación de la relación  $f_{c\text{Octavo superior}}/f_{c\text{Octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 90 min

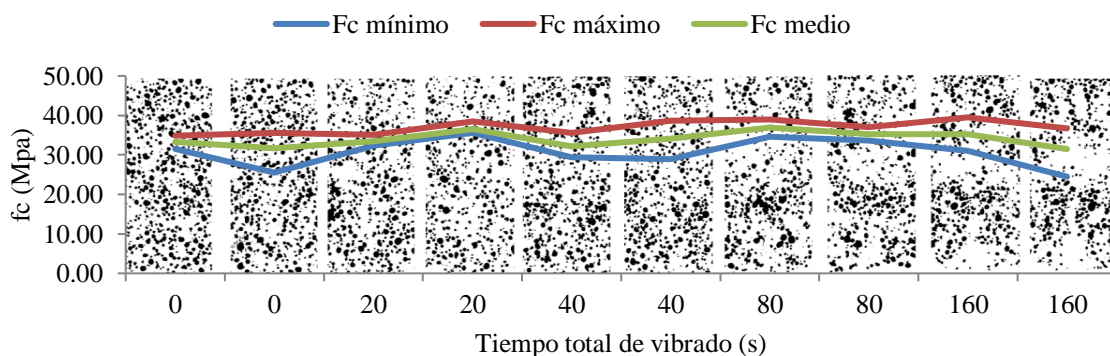


Figura 148 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 2 (HL2), tiempo de fabricación de 90 min



### 6.7.9.FC X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 3 (HL3), diseñado para una densidad teórica de 1700 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 149 representa la variación de las resistencias a compresión obtenidas para los testigos extraídos de cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado. La Figura 150 representa la variación de la relación  $f_{c\text{octavo superior}}/f_{c\text{octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta y la Figura 151 representa la variación de los Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado.

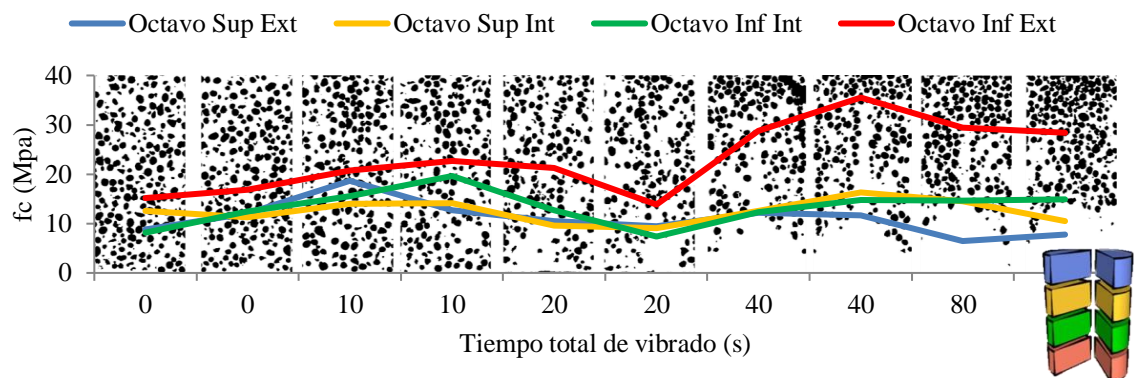


Figura 149 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 15 min

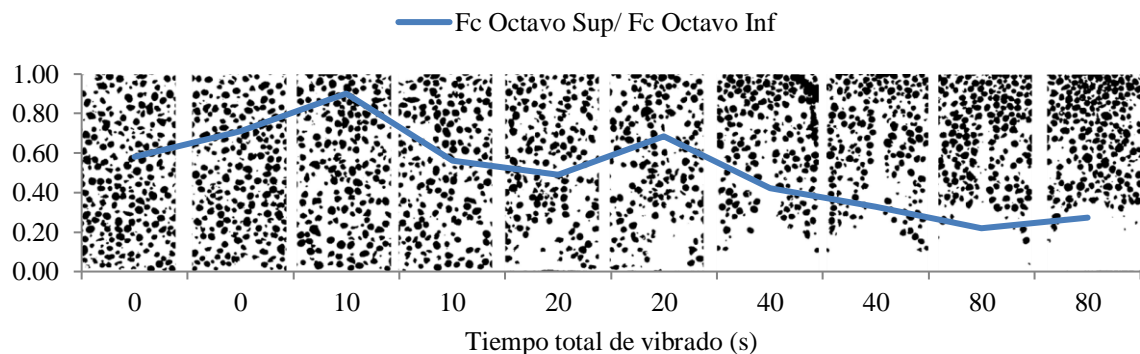


Figura 150 - Variación de la relación  $f_{c\text{octavo superior}}/f_{c\text{octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 15 min

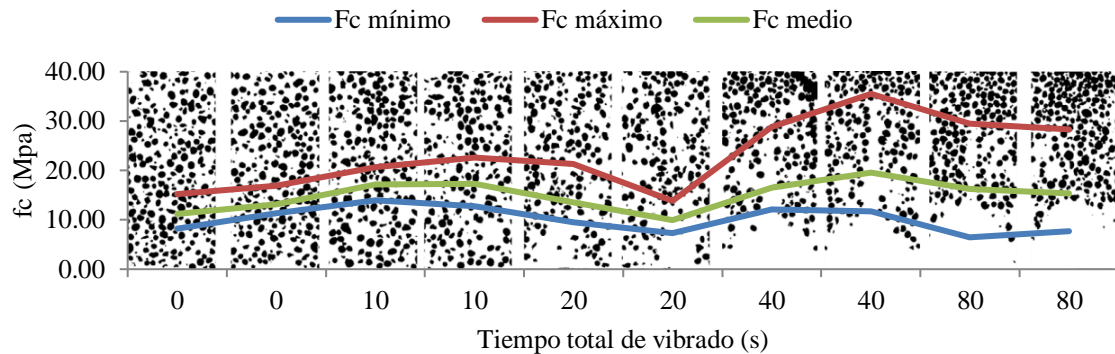


Figura 151 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 15 min

#### 6.7.10. FC X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 3 (HL3), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 30 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 152 representa la variación de las resistencias a compresión obtenidas para los testigos extraídos de cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado. La Figura 153 representa la variación de la relación  $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta y la Figura 154 representa la variación de los Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado.

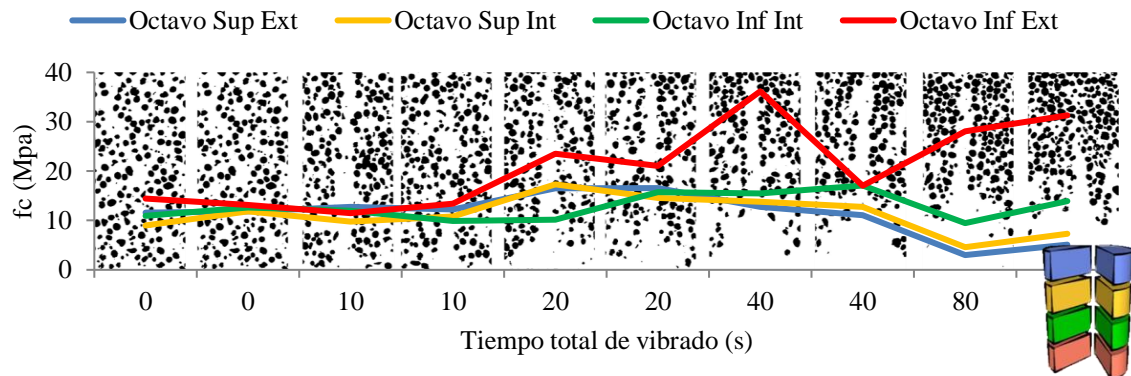
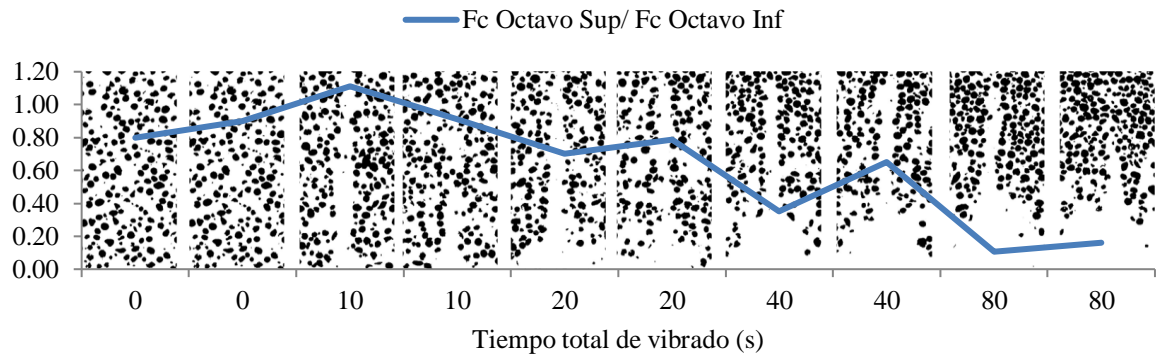
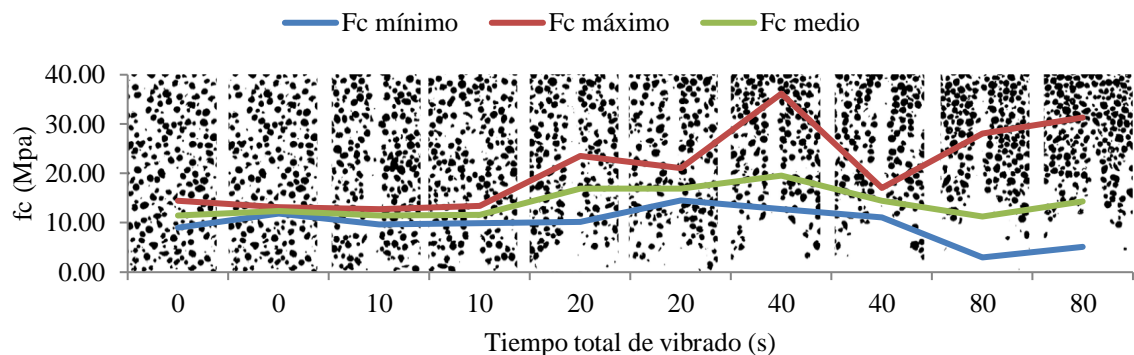


Figura 152 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 30 min





**Figura 153 - Variación de la relación  $f_{c_{octavo superior}}/f_{c_{octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 30 min**



**Figura 154 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 30 min**

#### 6.7.11. FC X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 3 (HL3), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 60 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 155 representa la variación de las resistencias a compresión obtenidas para los testigos extraídos de cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado. La Figura 156 representa la variación de la relación  $f_{c_{octavo superior}}/f_{c_{octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta y la Figura 157 representa la variación de los Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado.

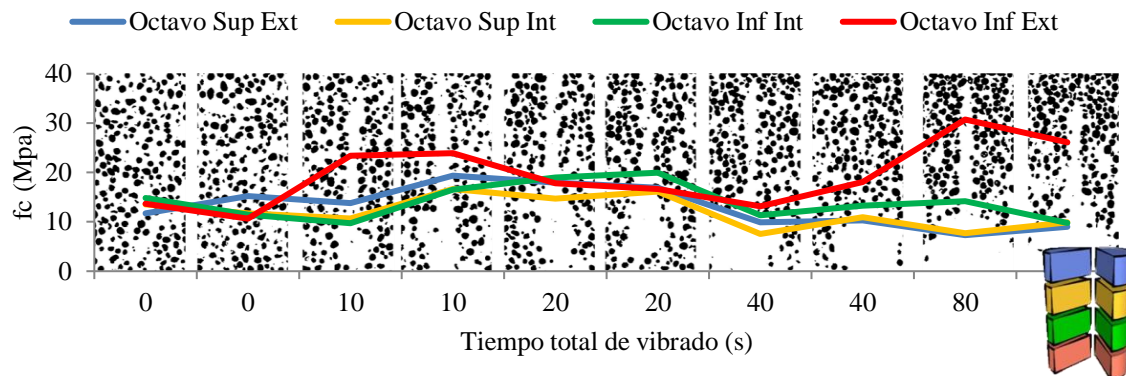


Figura 155 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 60 min

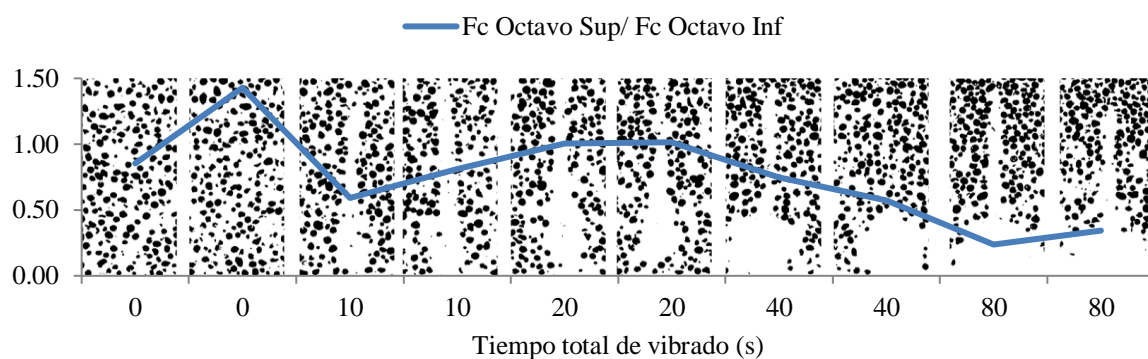


Figura 156 - Variación de la relación  $fc_{\text{Octavo superior}}/fc_{\text{Octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 60 min

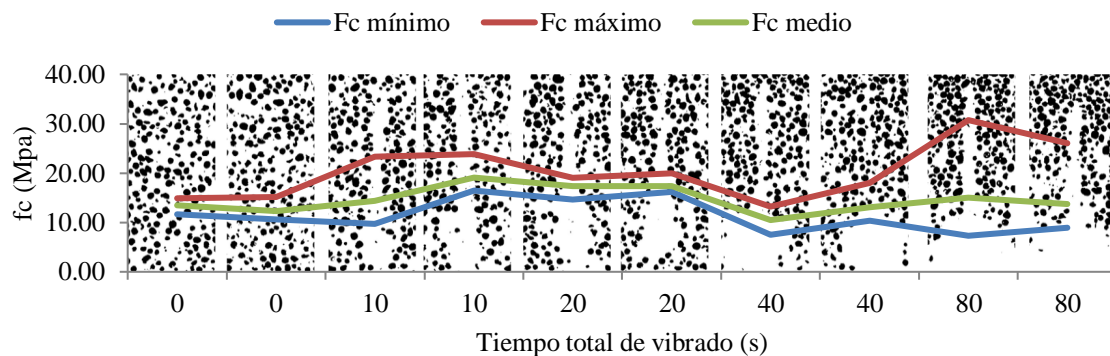


Figura 157 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 60 min

#### 6.7.12. FC X TV - HORMIGÓN 3 (HL3), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 3 (HL3), diseñado para una densidad teórica de  $1700 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 90 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 158 representa la variación de las resistencias





a compresión obtenidas para los testigos extraídos de cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado. La Figura 159 representa la variación de la relación  $f_{c\text{octavo superior}}/f_{c\text{octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta y la Figura 160 representa la variación de los Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado.

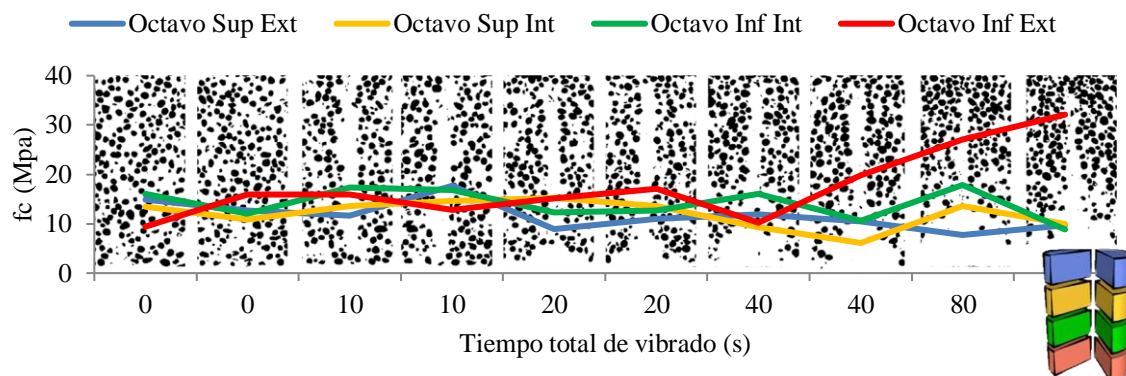


Figura 158 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 90 min

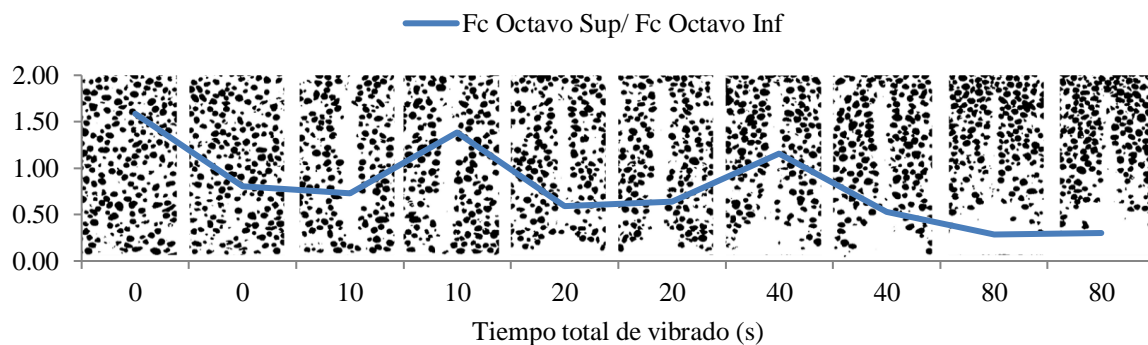


Figura 159 - Variación de la relación  $f_{c\text{octavo superior}}/f_{c\text{octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 90 min

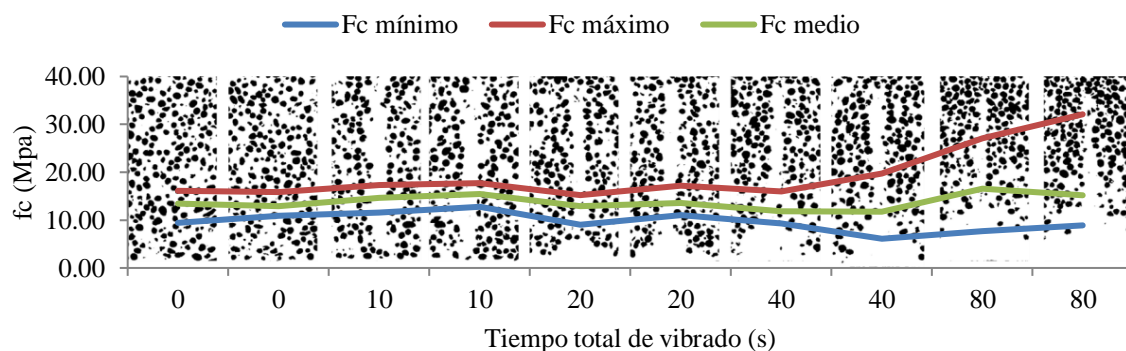


Figura 160 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 3 (HL3), tiempo de fabricación de 90 min



### 6.7.13. FC X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 15 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 4 (HL4), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 15 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 161 representa la variación de las resistencias a compresión obtenidas para los testigos extraídos de cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado. La Figura 162 representa la variación de la relación  $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta y la Figura 163 representa la variación de los Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado.

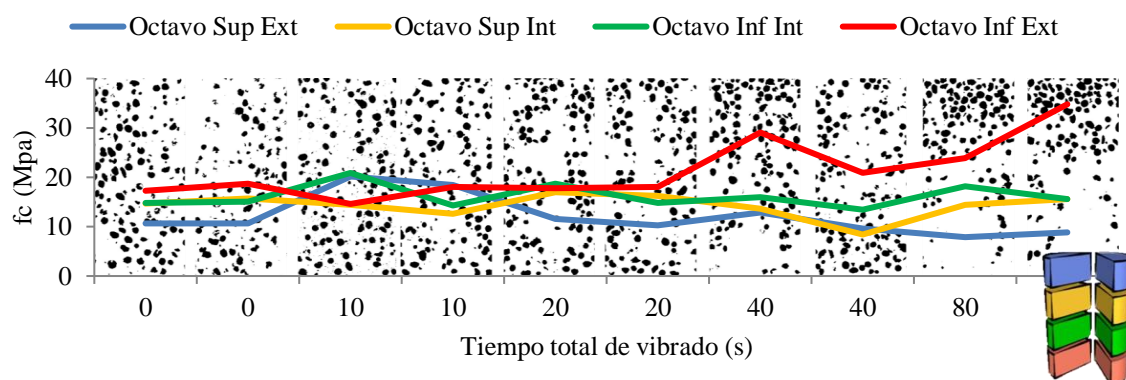


Figura 161 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 15 min

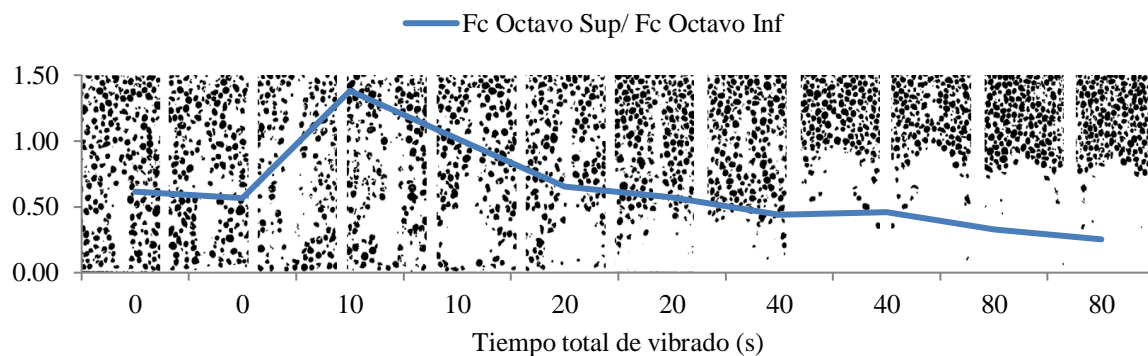


Figura 162 - Variación de la relación  $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 15 min

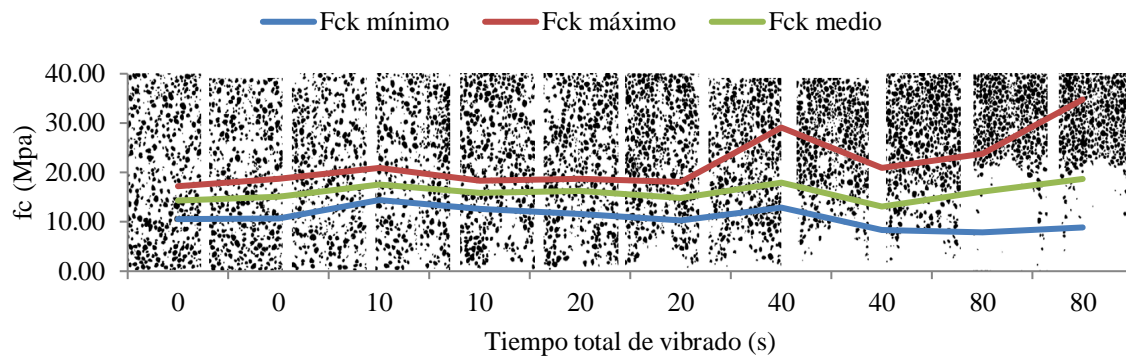


Figura 163 - Fcs mínimos, médios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 15 min

#### 6.7.14. FC X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 30 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 4 (HL4), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 30 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 164 representa la variación de las resistencias a compresión obtenidas para los testigos extraídos de cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado. La Figura 165 representa la variación de la relación  $f_{c_{\text{octavo superior}}}/f_{c_{\text{octavo inferior}}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta y la Figura 166 representa la variación de los Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado.

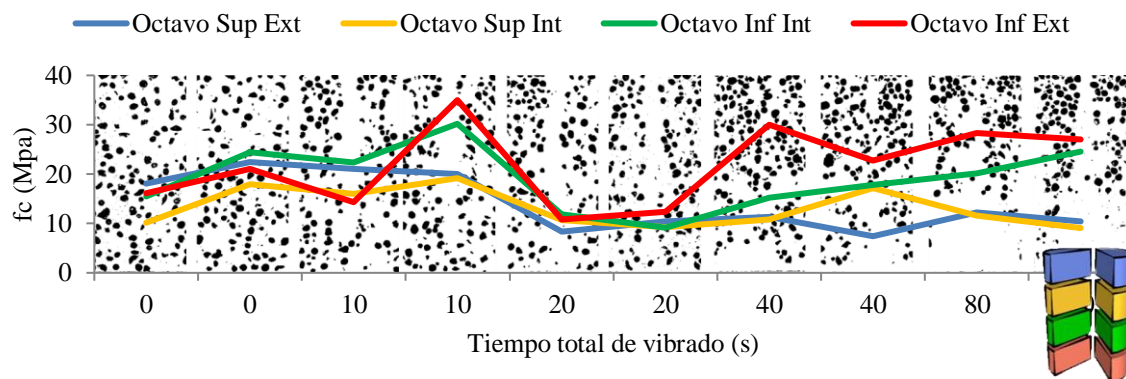
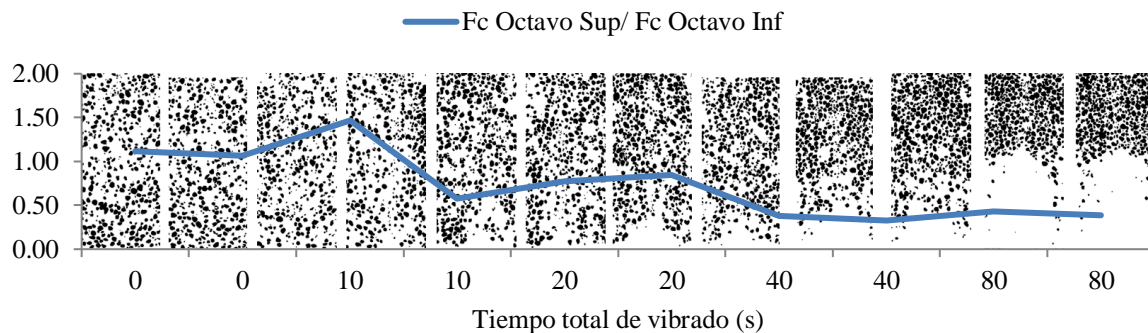
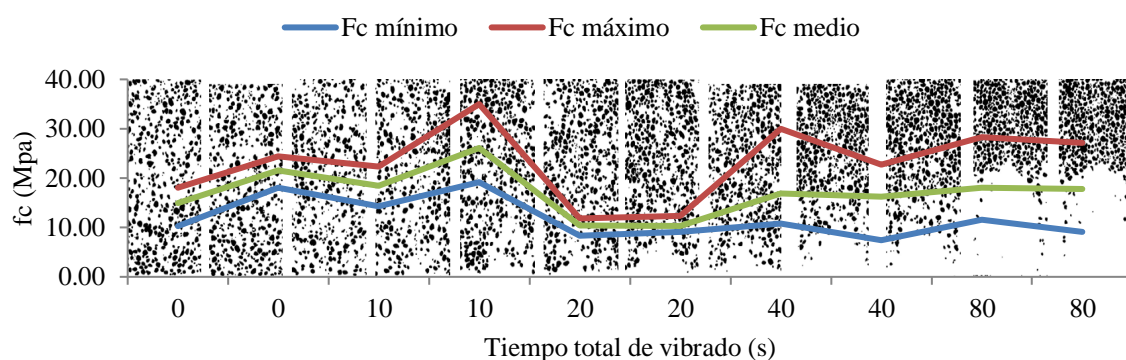


Figura 164 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 30 min



**Figura 165 - Variación de la relación  $f_{c_{octavo superior}}/f_{c_{octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 30 min**



**Figura 166 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 30 min**

#### 6.7.15. FC X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 60 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 4 (HL4), diseñado para una densidad teórica de  $1900 \text{ kg/m}^3$ , vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 60 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 112 representa la variación de las resistencias a compresión obtenidas para los testigos extraídos de cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado. La Figura 126 representa la variación de la relación  $f_{c_{octavo superior}}/f_{c_{octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta y la Figura 127 representa la variación de los Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado.



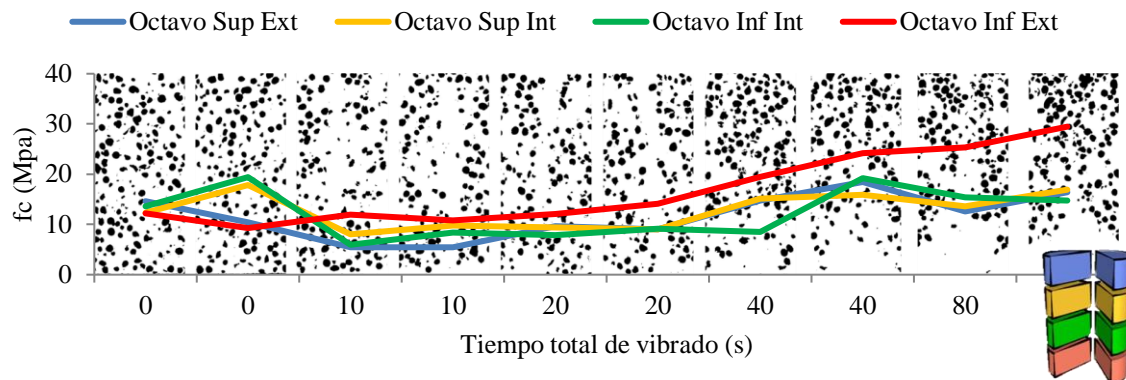


Figura 167 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 60 min

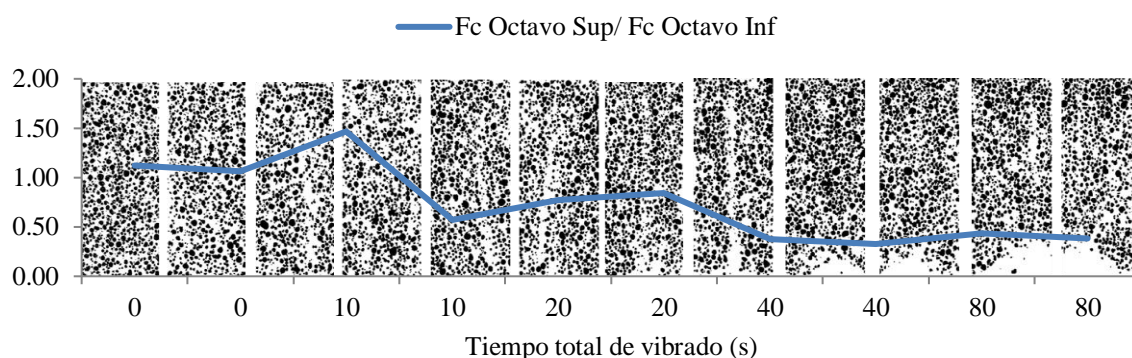


Figura 168 - Variación de la relación  $f_{c\text{Octavo superior}}/f_{c\text{Octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 60 min

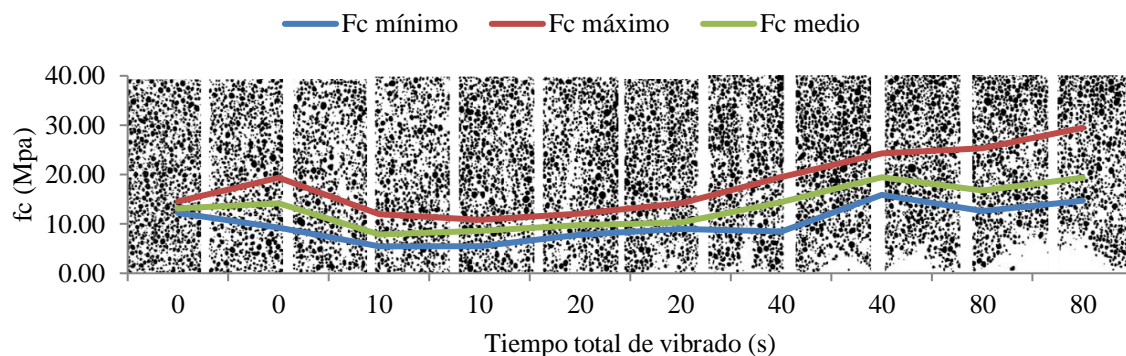


Figura 169 - Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 60 min

#### 6.7.16. FC X TV - HORMIGÓN 4 (HL4), TIEMPO DE FABRICACIÓN 90 MINUTOS.

En este apartado se encuentran los resultados obtenidos para el hormigón 4 (HL4), diseñado para una densidad teórica de 1900 kg/m<sup>3</sup>, vibrado en una capa, con tiempo de fabricación de 90 minutos y fabricado con áridos ligeros Arlita Leca M. La Figura 170Figura 112 representa la variación de las





resistencias a compresión obtenidas para los testigos extraídos de cada octavo de probeta, para cada tiempo de vibrado. La Figura 171Figura 126 representa la variación de la relación  $f_{c\text{octavo superior}}/f_{c\text{octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta y la Figura 172 representa la variación de los Fcs mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado.

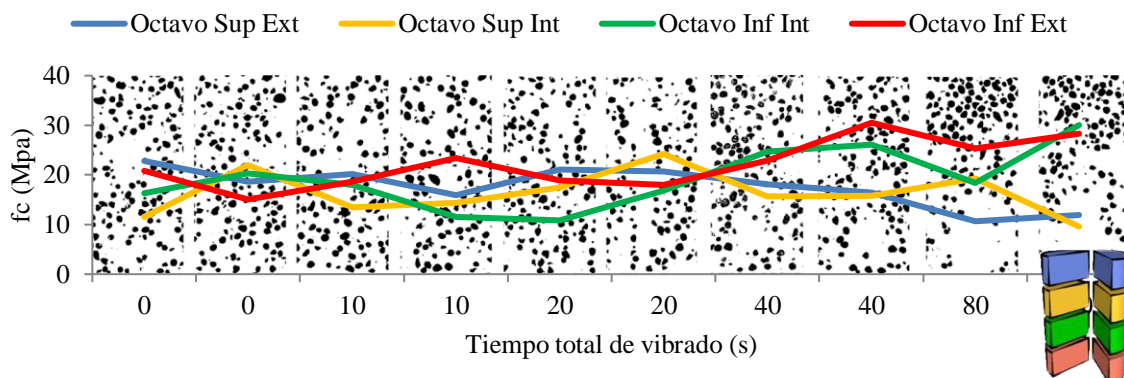


Figura 170 - Variación de la resistencia a compresión, obtenida de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 90 min

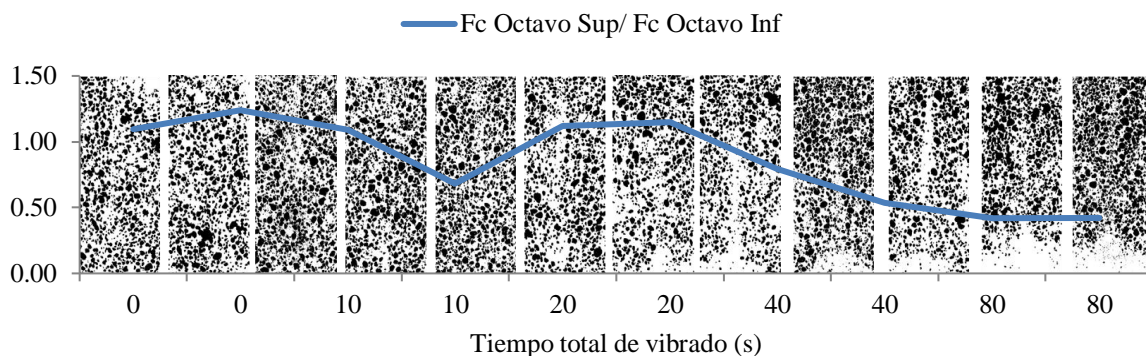


Figura 171 - Variación de la relación  $f_{c\text{octavo superior}}/f_{c\text{octavo inferior}}$ , obtenidas de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 90 min

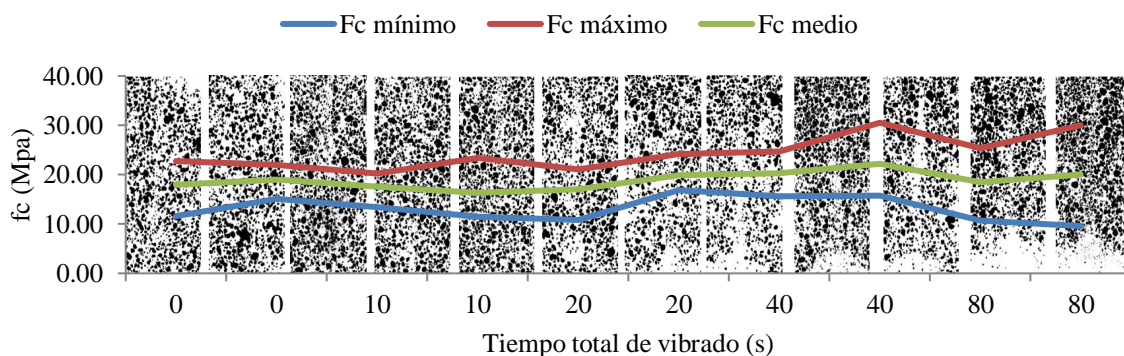


Figura 172 - Fc mínimos, medios y máximos, obtenidos de los testigos extraídos de los octavos de probeta, según los tiempos de vibrado para el hormigón 4 (HL4), tiempo de fabricación de 90 min



## 6.8. COMENTARIOS SOBRE LOS RESULTADOS DEL APARTADO 6.7

De manera general, con el aumento del tiempo de vibrado, la relación  $F_{c_{\text{octavo superior}}}/F_{c_{\text{octavo inferior}}}$  decrece, indicando un descenso de las resistencias de los octavos superiores y/o un incremento de las resistencias de los octavos inferiores. En los hormigones vibrados en dos capas (HL1 y HL2) este comportamiento es menos evidente, debido a la mayor homogeneidad ya comentada en los apartados anteriores.

Coherente con estos resultados, las diferencias entre las resistencias máximas y mínimas encontradas en cada mitad de probeta son más pronunciadas en los tiempos de vibrado mayores y en los hormigones vibrados en una sola capa (HL3, HL4).

El descenso de la resistencia mínima, que quizás es el parámetro más importante cuando se trata de la influencia de la segregación en la resistencia a compresión, puede ser observado en 4 de los 16 casos estudiados (HL3-15 min, HL3 - 60 min, HL4 - 15 min y HL4 - 30 min), todos vibrados en una sola capa.



## 7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

En este capítulo, a través de análisis estadísticos, se discute la influencia de varios parámetros relaciones a la segregación del hormigón. Con el objetivo de facilitar la lectura de los resultados, este capítulo ha sido dividido en tres apartados principales:

Apartado 7.1 , donde se discute la influencia de cada parámetro de fabricación del hormigón (número de capas, tiempo de fabricación, consistencia, tiempo de vibrado); de la naturaleza del hormigón (densidad real) y de la naturaleza de los materiales utilizados (tamaño y densidad de los áridos) en la segregación de las muestras.

Apartado 7.2, donde se discute la influencia de múltiples parámetros combinados, agrupando las muestras en grupos en función de los resultados obtenidos en el apartado anterior.

Apartado 7.3, donde se discute la influencia de la segregación en las propiedades mecánicas del hormigón.

### 7.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO VERIFICANDO LA INFLUENCIA DE CADA VARIABLE EXPLICATIVA EN LA SEGREGACIÓN

#### 7.1.1. INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE FABRICACIÓN EN LA SEGREGACIÓN

##### 7.1.1.1. VIBRADO EN UNA CAPA VERSUS VIBRADO EN DOS CAPAS

Con el objetivo de analizar si la fabricación de las probetas en una o dos capas es un factor que afecta directamente en la segregación del hormigón, un análisis ANOVA complementado por el Test de Tukey (HSD) ha sido efectuado evaluando de manera cualitativa este parámetro. En total se realizaron 208 observaciones, referentes a las dos mitades de cada una de las 104 probetas, siendo 62% vibradas en una sola capa y 38% vibradas en dos capas (Figura 173).

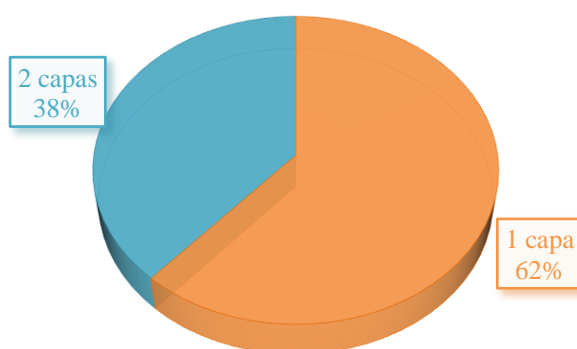


Figura 173 - Frecuencia de los datos cualitativos, vibrado de las probetas en una o dos capas.

Fueran establecidas como hipótesis en el análisis:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2$  - No se puede afirmar que el tipo de vibrado afecta en la segregación
- $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$  - El tipo de vibrado afecta en la segregación



Para los datos obtenidos con el método de cuantificación de la segregación por ultrasonidos ( $IS_{Ultrasonidos}$ ), el análisis ANOVA reveló que no existen diferencias significativas entre ambas las categorías ( $p\text{-valor}=0,189$ ). Dado el  $p$ -valor asociado al estadístico F calculado en la tabla ANOVA (Tabla 16), y dado el nivel de significación del 5%, la información aportada por la variable explicativa (número de capas) no es significativamente mejor que la que podría aportar únicamente la media. El hecho de que la variable no aporte información significativa al modelo puede interpretarse de dos modos: o bien la variable no contribuyen a la explicación del modelo, o bien faltan algunas covariables que podrían explicar la variabilidad.

Sin embargo, para todos los demás métodos de cuantificación de la segregación, los  $p$ -valores son inferiores al nivel de significación del 5%. Dado el valor  $p$  asociado al estadístico F calculado en la tabla ANOVA (Tabla 16), la información aportada por la variable explicativa (número de capas) es significativamente mejor que la que podría aportar únicamente la media, por lo tanto, el parámetro “número de capas” afecta la segregación del hormigón cuando esta es medida utilizando los índices de  $Ke$ ,  $Ke$  por análisis de imágenes, Navarrete-Lopez y Solak.

Método		Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
$IS_{Ultrasonidos}$	Modelo	1	0.005	0.005	1.737	0.189
	Error	206	0.583	0.003		
	Total corregido	207	0.588			
$IS_{Ke}$	Modelo	1	0.258	0.258	21.994	< 0.05
	Error	206	2.421	0.012		
	Total corregido	207	2.679			
$IS_{Ke AI}$	Modelo	1	0.476	0.476	28.197	< 0.05
	Error	206	3.479	0.017		
	Total corregido	207	3.956			
$IS_{Navarrete-Lopez}$	Modelo	1	7.393	7.393	33.420	< 0.05
	Error	206	45.568	0.221		
	Total corregido	207	52.961			
$IS_{Solak}$	Modelo	1	0.281	0.281	30.661	< 0.05
	Error	206	1.887	0.009		
	Total corregido	207	2.168			

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

**Tabla 16 - Resultados del ANOVA en la verificación de la influencia del tipo de vibrado en la segregación del hormigón.**

Los datos de la Tabla 17 son los resultados del Test de Tukey, que clasifica las categorías con base en sus  $p$ -valores en un (A) o dos grupos (A y B). Solamente para el caso del Índice de Segregación por Ultrasonidos, el Test de Tukey indica que todos los datos pueden ser evaluados de manera conjunta y por lo tanto todas las observaciones pueden ser incluidas en un único grupo (A). Esto se refleja en valores medios de  $IS_{Ultrasonidos}$  muy cercanos entre si para ambas las categorías (0,963 para “1 capa” y 0,973 para “2 capas”), pero como observado anteriormente en el ANOVA, no se puede afirmar que el parámetro “número de capas” afecta el  $IS_{Ultrasonidos}$ .



Sin embargo, en todos los demás métodos, los resultados del Test de Tukey han clasificado las dos categorías en dos grupos (A y B), indicando la existencia de diferencias significativas entre ellas y visando la obtención de resultados más precisos, merecen ser analizadas por separado.

Método	Categoría	Medias	Grupos
IS <sub>Ultrasonidos</sub>	1 capa	0.963	A
	2 capas	0.973	A
IS <sub>Ke</sub>	1 capa	0.870	A
	2 capas	0.942	B
IS <sub>Ke AI</sub>	1 capa	0.852	A
	2 capas	0.951	B
IS <sub>Navarrete-Lopez</sub>	1 capa	60%	A
	2 capas	22%	B
IS <sub>Solak</sub>	1 capa	26%	A
	2 capas	18%	B

Tabla 17 - Resultados del Test de Tukey clasificando las categorías “vibrado en 1 capa” y “vibrado en 2 capas” en grupos para posteriores análisis.

#### 7.1.1.2. INFLUENCIA DEL TIEMPO DE FABRICACIÓN EN LA SEGREGACIÓN

El tiempo de fabricación es efectivamente el tiempo transcurrido entre la mezcla de los materiales en la hormigonera y la colocación/vibración del hormigón en los moldes cilíndricos. Para analizar la existencia de influencias del tiempo de fabricación en la segregación del hormigón, un análisis ANOVA complementado por un Test de Tukey (HSD) ha sido efectuado evaluando de manera cualitativa este parámetro. En total se realizaron 208 observaciones, referentes a las dos mitades de cada una de las 104 probetas, siendo 43% con tiempos de 15 minutos, 19% con tiempos de 30 minutos, 19% con tiempos de 60 minutos y 19% con tiempos de 90 min (Figura 174).

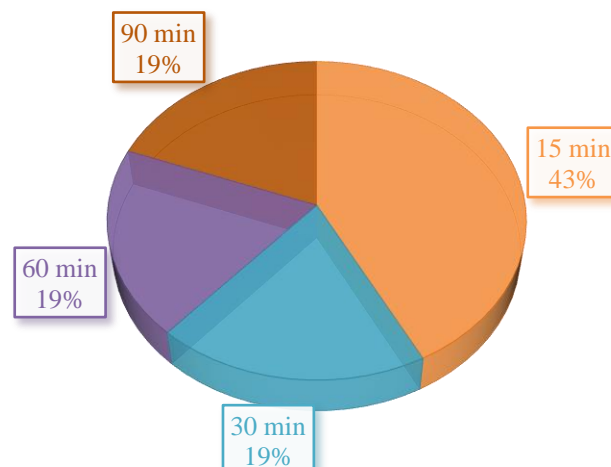


Figura 174 - Frecuencia de los datos cualitativos, tiempo de espera entre la mezcla de los materiales en la hormigonera y la colocación/vibración del hormigón en los moldes cilíndricos.

Fueran establecidas como hipótesis en el análisis:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2$  - No se puede afirmar que el tiempo de fabricación afecta en la segregación





- $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$  - El tiempo de fabricación afecta en la segregación

Para todos los métodos de cuantificación de la segregación, el análisis ANOVA reveló que no existen diferencias significativas entre las categorías analizadas. Dado el p-valor asociado al estadístico F calculado en la tabla ANOVA (Tabla 18), y dado el nivel de significación del 5%, la información aportada por la variable explicativa (tiempo de fabricación) no es significativamente mejor que la que podría aportar únicamente la media. El hecho de que la variable no aporte información significativa al modelo puede interpretarse de dos modos: o bien la variable no contribuyen a la explicación del modelo, o bien faltan algunas covariables que podrían explicar la variabilidad.

Método		Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
IS <sub>Ultrasonidos</sub>	Modelo	3	0.001	0.000	0.154	0.927
	Error	204	0.587	0.003		
	Total corregido	207	0.588			
IS <sub>Ke</sub>	Modelo	3	0.061	0.020	1.585	0.194
	Error	204	2.618	0.013		
	Total corregido	207	2.679			
IS <sub>Ke AI</sub>	Modelo	3	0.118	0.039	2.085	0.103
	Error	204	3.838	0.019		
	Total corregido	207	3.956			
IS <sub>Navarrete-Lopez</sub>	Modelo	3	1.137	0.379	1.492	0.218
	Error	204	51.824	0.254		
	Total corregido	207	52.961			
IS <sub>Solak</sub>	Modelo	3	0.031	0.010	0.983	0.402
	Error	204	2.137	0.010		
	Total corregido	207	2.168			

**Tabla 18 - Resultados del ANOVA en la verificación de la influencia del tiempo de fabricación en la segregación del hormigón.**

Coherentes con los resultados del ANOVA, los resultados del Test de Tukey (HSD) presentados en la Tabla 19, para todos los métodos, han clasificado las cuatro categorías (15, 30, 60 y 90 minutos) en un único grupo a ser analizado (A), indicando la no existencia de diferencias significativas entre ellas.

Método	Categoría	Medias	Grupo
IS <sub>Ultrasonidos</sub>	15 min	0.968	A
	30 min	0.963	A
	60 min	0.965	A
	90 min	0.970	A
IS <sub>Ke</sub>	15 min	0.881	A
	30 min	0.899	A
	60 min	0.903	A
	90 min	0.928	A
IS <sub>Ke AI</sub>	15 min	0.865	A
	30 min	0.897	A
	60 min	0.903	A
	90 min	0.926	A
IS <sub>Navarrete-Lopez</sub>	15 min	53%	A



	30 min	45%	A
	60 min	40%	A
	90 min	34%	A
IS <sub>Solak</sub>	15 min	24%	A
	30 min	23%	A
	60 min	22%	A
	90 min	21%	A

Tabla 19 - Resultados del Test de Tukey clasificando las categorías “15 min”, “30 min”, “60 min” y “90 min” en un único grupo de análisis.

#### 7.1.1.1. INFLUENCIA DE LA CONSISTENCIA DEL HORMIGÓN EN LA SEGREGACIÓN

El tiempo transcurrido entre la mezcla de los materiales en la hormigonera y la colocación/vibración del hormigón en los moldes cilíndricos afecta directamente en la consistencia y en la docilidad del hormigón. En este estudio, durante la fabricación del hormigón “HL1” (Densidad teórica de 1700 kg/m<sup>3</sup>, árido Arlita Leca HS, vibrado en dos capas), la medida de la consistencia del hormigón en estado fresco se realizó con el Método del cono de Abrams (UNE 83313:1990) ha sido realizada en diferentes tiempos de fabricación (10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 180 y 240 minutos), con el objetivo de analizar las variaciones en la consistencia con el pasar del tiempo y posteriormente correlacionar este parámetro con la segregación. El ensayo del cono de Abrams se realizó cuatro veces para cada tiempo analizado y los resultados están representados en el gráfico de la Figura 175, donde se observó la variación de la consistencia del hormigón en el tiempo. Las líneas verticales en rojo representan los instantes en que la segregación ha sido medida.

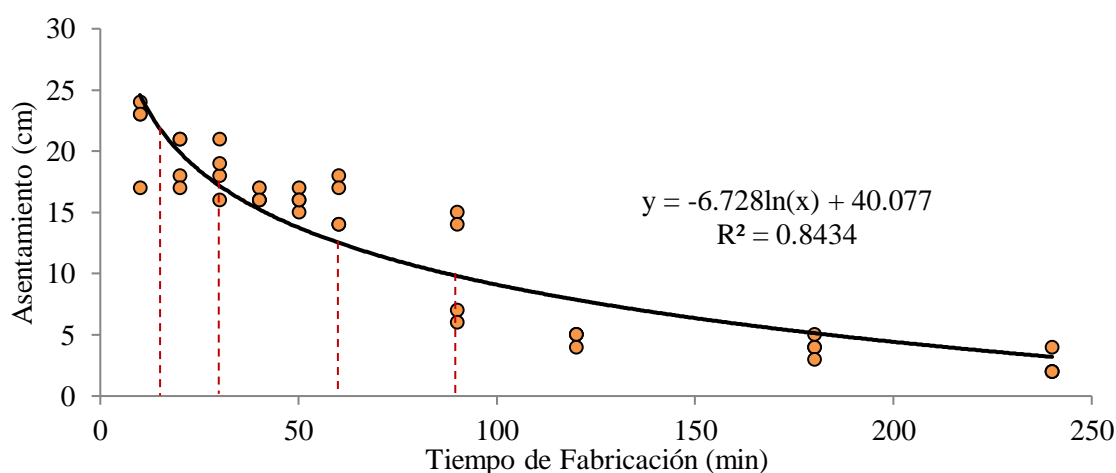


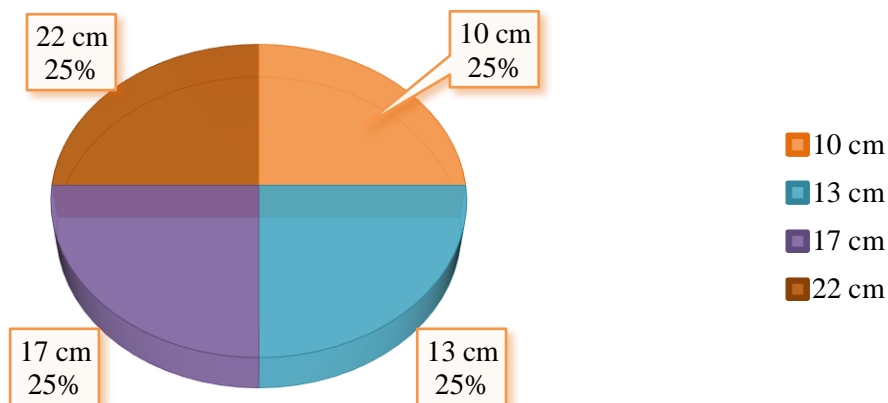
Figura 175 - Variación de la consistencia del hormigón con el transcurrir del tiempo

Para comparar la segregación y la consistencia del hormigón, los valores de consistencia se estimaron a través de la ecuación de la tendencia obtenida a través de los ensayos del cono de Abrams:

$$\text{Consistencia (cm)} = -6.728 * \ln(\text{tiempo de fabricación en minutos}) + 40.077$$

Para analizar la influencia de la consistencia en la segregación del hormigón, un análisis ANOVA complementado por un Test de Tukey (HSD) ha sido efectuado evaluando de manera cualitativa este

parámetro. En total se realizaron 40 observaciones, referentes a las dos mitades de cada una de las 20 probetas, siendo 25% con consistencia de 10 cm, 25% con consistencia de 13 cm, 25% con consistencia de 17 cm y 25% con consistencia de 22 cm (Figura 176).



**Figura 176 - Frecuencia de los datos cualitativos, consistencia del hormigón**

Fueran establecidas como hipótesis en el análisis:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2$  - No se puede afirmar que la consistencia del hormigón afecta en la segregación
- $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$  - La consistencia del hormigón afecta en la segregación

Para todos los métodos de cuantificación de la segregación, el análisis ANOVA reveló que no existen diferencias significativas entre las categorías analizadas. Dado el p-valor asociado al estadístico F calculado en la tabla ANOVA (Tabla 18), y dado el nivel de significación del 5%, la información aportada por la variable explicativa (consistencia del hormigón) no es significativamente mejor que la que podría aportar únicamente la media. El hecho de que la variable no aporte información significativa al modelo puede interpretarse de dos modos: o bien la variable no contribuyen a la explicación del modelo, o bien faltan algunas covariables que podrían explicar la variabilidad.

Método		Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
IS <sub>Ultrasonidos</sub>	Modelo	3	0.001	0.000	0.253	0.858
	Error	36	0.065	0.002		
	Total corregido	39	0.066			
IS <sub>Ke</sub>	Modelo	3	0.006	0.002	0.821	0.491
	Error	36	0.086	0.002		
	Total corregido	39	0.091			
IS <sub>Ke AI</sub>	Modelo	3	0.010	0.003	0.433	0.731
	Error	36	0.289	0.008		
	Total corregido	39	0.300			
IS <sub>Navarrete-Lopez</sub>	Modelo	3	0.074	0.025	0.796	0.504
	Error	36	1.113	0.031		
	Total corregido	39	1.186			
IS <sub>Solak</sub>	Modelo	3	0.001	0.000	0.325	0.807
	Error	36	0.036	0.001		
	Total corregido	39	0.037			

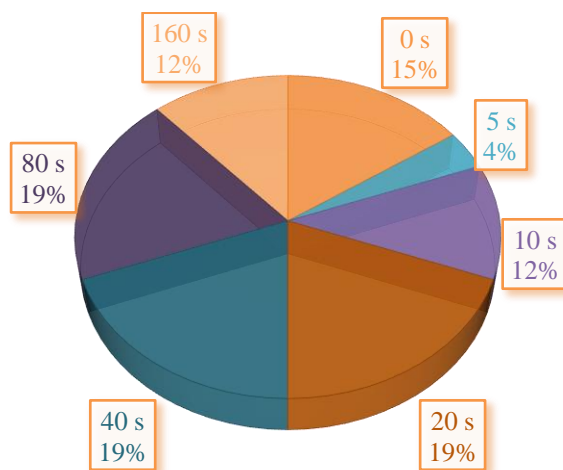


**Tabla 20 - Resultados del ANOVA en la verificación de la influencia de la consistencia en la segregación del hormigón**

Coherentes con los resultados del ANOVA, los resultados del Test de Tukey (HSD) presentados en la Tabla 19, para todos los métodos, han clasificado las cuatro categorías (10, 13, 17 y 22 cm) en un único grupo a ser analizado (A), indicando la no existencia de diferencias significativas entre ellas. Los datos son coherentes con los resultados presentados en el apartado 7.1.1.2.

#### 7.1.1.2. INFLUENCIA DEL TIEMPO DE VIBRACIÓN EN LA SEGREGACIÓN

El tiempo total de vibración es efectivamente el tiempo transcurrido entre el momento en que el vibrador es insertado y el momento en el mismo es retirado de los moldes cilíndricos. En el caso de las probetas fabricadas en dos capas (HL1 y HL2), el tiempo total de vibración equivale a la suma de los tiempos de cada capa. Para analizar la existencia de influencias del tiempo total de vibración en la segregación del hormigón, un análisis ANOVA complementado por un Test de Tukey (HSD) ha sido efectuado evaluando de manera cualitativa este parámetro. En total se realizaron 208 observaciones, referentes a las dos mitades de cada una de las 104 probetas, siendo 15% sin vibrar, 4% con 5 segundos de vibrado, 12% con 10 segundos de vibrado, 19 % con 20 segundos de vibrado, 19% con 40 segundos de vibrado, 19 % con 80 segundos de vibrado y 12% con 160 segundos de vibrado (Figura 177).



**Figura 177 - Frecuencia de los datos cualitativos, tiempo de vibración total por probeta.**

Fueran establecidas como hipótesis en el análisis:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2$  - No se puede afirmar que el tiempo vibración afecta en la segregación
- $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$  - El tiempo de vibración afecta en la segregación

Para todos los métodos de cuantificación de la segregación, el análisis ANOVA reveló que existen diferencias significativas entre las categorías analizadas, los p-valores son inferiores al nivel de significación del 5%. Dado el valor estadístico F calculado en la tabla ANOVA (Tabla 21), la



información aportada por la variable explicativa (tiempo de vibración) es significativamente mejor que la que podría aportar únicamente la media, por lo tanto, el parámetro “tiempo de vibración” afecta la segregación del hormigón.

Método		Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
IS <sub>Ultrasonidos</sub>	Modelo	6	0.136	0.023	10.030	< 0.05
	Error	201	0.453	0.002		
	Total corregido	207	0.588			
IS <sub>Ke</sub>	Modelo	6	1.066	0.178	22.146	< 0.05
	Error	201	1.613	0.008		
	Total corregido	207	2.679			
IS <sub>Ke AI</sub>	Modelo	6	1.622	0.270	23.297	< 0.05
	Error	201	2.333	0.012		
	Total corregido	207	3.956			
IS <sub>Navarrete-Lopez</sub>	Modelo	6	18.331	3.055	17.733	< 0.05
	Error	201	34.630	0.172		
	Total corregido	207	52.961			
IS <sub>Solak</sub>	Modelo	6	0.597	0.100	12.744	< 0.05
	Error	201	1.570	0.008		
	Total corregido	207	2.168			

**Tabla 21 - Resultados del ANOVA en la verificación de la influencia del tiempo de vibrado en la segregación del hormigón.**

En todos los métodos de cuantificación de la segregación, los resultados del Test de Tukey han clasificado las dos categorías en dos grupos (A y B) o tres (A, B y C) grupos, indicando la existencia de diferencias significativas entre ellas y visando la obtención de resultados más precisos, merecen ser analizadas por separado. En todos los métodos se observó que existe un cambio en la clasificación (de A para B en IS<sub>Solak</sub>, y de B para C en IS<sub>Ultrasonidos</sub>, IS<sub>Ke</sub>, IS<sub>Ke AI</sub> y IS<sub>Navarrete-Lopez</sub>) de los 40 para los 80 segundos.

Método	Categoría	Medias	Grupos		
IS <sub>Ultrasonidos</sub>	0 s	0.997	A		
	5 s	1.005	A		
	10 s	0.989	A	B	
	20 s	0.984	A	B	
	<b>40 s</b>	<b>0.954</b>		<b>B</b>	<b>C</b>
	80 s	0.933			C
	160 s	0.940			C
IS <sub>Ke</sub>	0 s	0.992	A		
	5 s	1.008	A		
	10 s	0.951	A		
	20 s	0.937	A		
	<b>40 s</b>	<b>0.873</b>		<b>B</b>	
	80 s	0.802			C
	160 s	0.816		B	C
IS <sub>Ke AI</sub>	0 s	1.004	A		
	5 s	1.000	A		
	10 s	0.969	A		
	20 s	0.939	A		
	<b>40 s</b>	<b>0.863</b>		<b>B</b>	
	80 s	0.770			C
	160 s	0.785		B	C





ISNavarrete-Lopez	0 s	13%	A		
	5 s	12%	A		
	10 s	18%	A		
	20 s	25%	A		
	<b>40 s</b>	<b>54%</b>		<b>B</b>	
	80 s	91%			C
	160 s	73%		B	C
ISSolak	0 s	17%	A		
	5 s	16%	A		
	10 s	19%	A		
	20 s	19%	A		
	<b>40 s</b>	<b>23%</b>	<b>A</b>		
	80 s	31%		B	
	160 s	30%		B	

Tabla 22 - Resultados del Test de Tukey clasificando las categorías “0 s”, “5 s”, “10 s”, “20 s”, “40 s”, “80 s” y “160 s” en grupos de análisis.

### 7.1.2. INFLUENCIAS DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN EN LA SEGREGACIÓN

#### 7.1.2.1. INFLUENCIA DE LA DENSIDAD SECA DEL HORMIGÓN EN LA SEGREGACIÓN

En este estudio las densidades teóricas de 1700 y 1900 kg/m<sup>3</sup> han sido adoptadas para la dosificación de las probetas de hormigón ligero. La densidad real seca de cada mitad de probeta ha sido obtenida se realizó con el método de la balanza hidrostática, donde en total se realizaron 208 observaciones, siendo 108 referentes a los hormigones con densidad teórica de 1700 kg/m<sup>3</sup> y 80 referentes a los hormigones con densidad teórica de 80 kg/m<sup>3</sup> (Tabla 23).

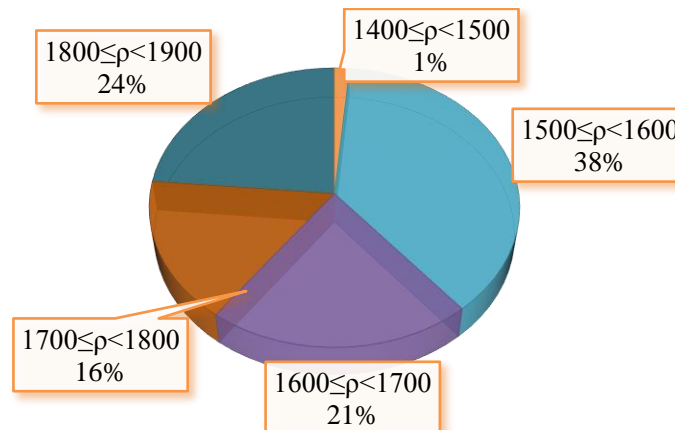
Densidad Teórica	Observaciones	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Típica
1700 kg/m <sup>3</sup>	128	1401	1740	1586	54
1900 kg/m <sup>3</sup>	80	1736	1867	1808	33

Tabla 23 - Estadísticos descriptivos de los datos referentes a las densidades reales secas obtenidas por el método de la balanza hidrostática.

Para evaluar de manera cualitativa la influencia de la densidad seca en la segregación, los datos de densidad real han sido agrupados según la división presentada en la Tabla 24. La influencia de los grupos ha sido verificada a través de un análisis ANOVA complementado por un Test de Tukey (HSD). En total se realizaron 208 observaciones, referentes a las dos mitades de cada una de las 104 probetas, siendo 1% con  $1400 \leq \rho < 1500$  kg/m<sup>3</sup>; 39% con  $1500 \leq \rho < 1600$  kg/m<sup>3</sup>; 21% con  $1600 \leq \rho < 1700$  kg/m<sup>3</sup>; 16% con  $1700 \leq \rho < 1800$  kg/m<sup>3</sup> y 24% con  $1800 \leq \rho < 1900$  kg/m<sup>3</sup> (Figura 178).

Densidad Seca (kg/m <sup>3</sup> )	Observaciones	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Típica
$1400 \leq \rho < 1500$	3	1401	1482	1442	40
$1500 \leq \rho < 1600$	78	1506	1599	1557	25
$1600 \leq \rho < 1700$	44	1600	1697	1637	27
$1700 \leq \rho < 1800$	34	1705	1798	1769	21
$1800 \leq \rho < 1900$	49	1801	1867	1830	18

**Tabla 24 - Estadísticos descriptivos de los datos referentes a las densidades reales secas obtenidas por el método de la balanza hidrostática agrupadas para el ANOVA.**



**Figura 178 - Frecuencia de los datos cualitativos, densidad real del hormigón.**

Fueran establecidas como hipótesis en el análisis:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2$  - No se puede afirmar que la densidad real seca del hormigón afecta en la segregación
- $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$  - La densidad real seca afecta en la segregación

Para los métodos de cuantificación de la segregación por Ultrasonidos, Ke y Ke por Análisis de imágenes, el análisis ANOVA reveló que existen diferencias significativas entre las categorías analizadas, los p-valores son inferiores al nivel de significación del 5%. Dado el valor estadístico F calculado en la tabla ANOVA (Tabla 25), la información aportada por la variable explicativa (densidad real seca) es significativamente mejor que la que podría aportar únicamente la media, por lo tanto, el parámetro “densidad” afecta la segregación del hormigón cuando medida a través de estos métodos.

Para los métodos de cuantificación de la segregación propuestos por Navarrete-Lopez y por Solak, ambos por Análisis de imágenes y sin considerar la densidad como dato de entrada para el cálculo del Índice de Segregación, el análisis ANOVA reveló que no existen diferencias significativas entre las categorías analizadas. Dado el p-valor asociado al estadístico F calculado en la tabla ANOVA (Tabla 25), y dado el nivel de significación del 5%, la información aportada por la variable explicativa (densidad real seca) no es significativamente mejor que la que podría aportar únicamente la media. El hecho de que la variable no aporte información significativa al modelo puede interpretarse de dos modos: o bien la variable no contribuyen a la explicación del modelo, o bien faltan algunas covariables que podrían explicar la variabilidad.

Método		Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
IS <sub>Ultrasonidos</sub>	Modelo	4	0.031	0.008	2.842	<0.05
	Error	203	0.557	0.003		
	Total corregido	207	0.588			
IS <sub>KE</sub>	Modelo	4	0.222	0.056	4.590	<0.05
	Error	203	2.457	0.012		



	Total corregido	207	2.679			
IS <sub>KE AI</sub>	Modelo	4	0.484	0.121	7.073	<0.05
	Error	203	3.472	0.017		
	Total corregido	207	3.956			
IS <sub>Navarrete-Lopez</sub>	Modelo	4	1.983	0.496	1.974	0.100
	Error	203	50.978	0.251		
	Total corregido	207	52.961			
IS <sub>Solak</sub>	Modelo	4	0.024	0.006	0.568	0.686
	Error	203	2.144	0.011		
	Total corregido	207	2.168			

**Tabla 25 -Resultados del ANOVA en la verificación de la influencia de la densidad real seca en la segregación del hormigón.**

Para los métodos de cuantificación de la segregación por Ultrasonidos, Ke y Ke por Análisis de imágenes, los resultados del Test de Tukey han clasificado las cuatro categorías en dos grupos (A y B), indicando la existencia de diferencias significativas entre ellas y visando la obtención de resultados más precisos, merecen ser analizadas por separado.

Para los métodos de cuantificación de la segregación propuestos por Navarrete-Lopez y por Solak, coherentes con los resultados del ANOVA, los resultados del Test de Tukey (HSD) presentados en la Tabla 26 han clasificado las cinco categorías en un único grupo a ser analizado (A), indicando la no existencia de diferencias significativas entre ellas.

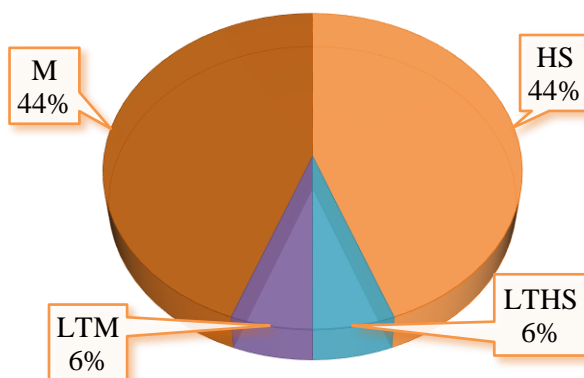
Método	Categoría	Medias	Grupos	
IS <sub>Ultrasonidos</sub>	$1400 \leq \rho < 1500 \text{ kg/m}^3$	0.977	A	B
	$1500 \leq \rho < 1600 \text{ kg/m}^3$	0.959		B
	$1600 \leq \rho < 1700 \text{ kg/m}^3$	0.956		B
	$1700 \leq \rho < 1800 \text{ kg/m}^3$	0.991	A	
	$1800 \leq \rho < 1900 \text{ kg/m}^3$	0.973	A	B
IS <sub>KE</sub>	$1400 \leq \rho < 1500 \text{ kg/m}^3$	1.004	A	
	$1500 \leq \rho < 1600 \text{ kg/m}^3$	0.872		B
	$1600 \leq \rho < 1700 \text{ kg/m}^3$	0.871		B
	$1700 \leq \rho < 1800 \text{ kg/m}^3$	0.942	A	B
	$1800 \leq \rho < 1900 \text{ kg/m}^3$	0.925	A	B
IS <sub>KE AI</sub>	$1400 \leq \rho < 1500 \text{ kg/m}^3$	0.994	A	
	$1500 \leq \rho < 1600 \text{ kg/m}^3$	0.853	A	B
	$1600 \leq \rho < 1700 \text{ kg/m}^3$	0.846		B
	$1700 \leq \rho < 1800 \text{ kg/m}^3$	0.960	A	B
	$1800 \leq \rho < 1900 \text{ kg/m}^3$	0.933	A	B
IS <sub>Navarrete-Lopez</sub>	$1400 \leq \rho < 1500 \text{ kg/m}^3$	11%	A	
	$1500 \leq \rho < 1600 \text{ kg/m}^3$	51%	A	
	$1600 \leq \rho < 1700 \text{ kg/m}^3$	56%	A	
	$1700 \leq \rho < 1800 \text{ kg/m}^3$	31%	A	
	$1800 \leq \rho < 1900 \text{ kg/m}^3$	40%	A	
IS <sub>Solak</sub>	$1400 \leq \rho < 1500 \text{ kg/m}^3$	16%	A	
	$1500 \leq \rho < 1600 \text{ kg/m}^3$	23%	A	
	$1600 \leq \rho < 1700 \text{ kg/m}^3$	24%	A	
	$1700 \leq \rho < 1800 \text{ kg/m}^3$	23%	A	
	$1800 \leq \rho < 1900 \text{ kg/m}^3$	23%	A	

**Tabla 26 - Resultados del Test de Tukey clasificando las categorías de densidad real seca del hormigón en grupos de análisis.**

### 7.1.3. INFLUENCIAS DE LOS ÁRIDOS LIGEROS EN LA SEGREGACIÓN

### 7.1.3.1. INFLUENCIA DEL TIPO DE ÁRIDO EN LA SEGREGACIÓN

En este estudio han sido utilizados cuatro tipos distintos de áridos ligeros, todos de arcilla expandida. Un análisis ANOVA complementado por un Test de Tukey (HSD) ha sido efectuado evaluando de manera cualitativa la influencia de este parámetro en la segregación. En total se realizaron 208 observaciones, referentes a las dos mitades de cada una de las 104 probetas, siendo 44% del tipo HS, 44% del tipo M, 6% del tipo LTHS y 6% del tipo LTHS (Figura 179).



**Figura 179 - Frecuencia de los datos cualitativos, tipos de áridos.**

Fueran establecidas como hipótesis en el análisis:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2$  - No se puede afirmar que el tipo de árido afecta en la segregación
- $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$  - El tipo de árido afecta en la segregación

Para todos los métodos de cuantificación de la segregación, el análisis ANOVA reveló que existen diferencias significativas entre las categorías analizadas, los p-valores son inferiores al nivel de significación del 5%. Dado el valor estadístico F calculado en la tabla ANOVA (Tabla 27), la información aportada por la variable explicativa (tipo de árido) es significativamente mejor que la que podría aportar únicamente la media, por lo tanto, el parámetro “tipo de árido” afecta la segregación del hormigón.

Método	Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
IS <sub>Ultrasonidos</sub>	Modelo	3	0.042	0.014	5.237	< 0.05
	Error	204	0.546	0.003		
	Total corregido	207	0.588			
IS <sub>Ke</sub>	Modelo	3	0.470	0.157	14.471	< 0.05
	Error	204	2.209	0.011		
	Total corregido	207	2.679			
IS <sub>Ke AI</sub>	Modelo	3	0.601	0.200	12.186	< 0.05
	Error	204	3.354	0.016		
	Total corregido	207	3.956			
IS <sub>Navarrete-Lopez</sub>	Modelo	3	10.529	3.510	16.874	< 0.05
	Error	204	42.432	0.208		
	Total corregido	207	52.961			
IS <sub>Solak</sub>	Modelo	3	0.530	0.177	22.011	< 0.05
	Error	204	1.638	0.008		



Total corregido 207 2.168

**Tabla 27 - Resultados del ANOVA en la verificación de la influencia del tipo de árido en la segregación del hormigón.**

En todos los métodos de cuantificación de la segregación, los resultados del Test de Tukey han clasificado las cuatros categorías en dos grupos (A y B), indicando la existencia de diferencias significativas entre ellas y visando la obtención de resultados más precisos, merecen ser analizadas por separado. En todos los métodos se observó que los áridos tipo HS son clasificados en el mismo grupo que los áridos tipo LTHS, y que los áridos tipo M son clasificados en el mismo grupo que los áridos tipo LTM.

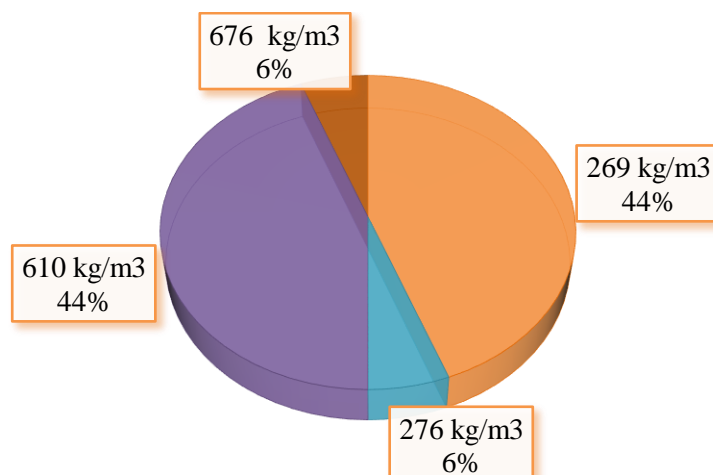
Método	Categoría	Medias	Grupos	
IS <sub>Ultrasonidos</sub>	HS	0.977	A	
	LTHS	1.001	A	
	LTM	0.942		B
	M	0.956		B
IS <sub>KE</sub>	HS	0.945	A	
	LTHS	0.942	A	
	LTM	0.818		B
	M	0.855		B
IS <sub>KE AI</sub>	HS	0.947	A	
	LTHS	0.905	A	B
	LTM	0.797		B
	M	0.844		B
IS <sub>Navarrete-Lopez</sub>	HS	22%	A	
	LTHS	34%	A	B
	LTM	74%		B
	M	67%		B
IS <sub>Solak</sub>	HS	18%	A	
	LTHS	18%	A	
	LTM	29%		B
	M	28%		B

**Tabla 28 - Resultados del Test de Tukey clasificando las categorías “HS”, “LTHS”, “M” y “LTM” en grupos de análisis.**

### 7.1.3.2. INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE LOS ÁRIDOS EN LA SEGREGACIÓN

En este estudio han sido utilizados cuatro tipos distintos de áridos ligeros, todos de arcilla expandida, con cuatro densidades diferentes. Un análisis ANOVA complementado por un Test de Tukey (HSD) ha sido efectuado evaluando de manera cualitativa la influencia de este parámetro en la segregación. En total se realizaron 208 observaciones, referentes a las dos mitades de cada una de las 104 probetas, siendo 44% de 610 kg/m<sup>3</sup>, 44% de 269 kg/m<sup>3</sup>, 6% de 676 kg/m<sup>3</sup> y 6% de 276 kg/m<sup>3</sup> (Figura 180).





**Figura 180 - Frecuencia de los datos cualitativos, densidad de los áridos ligeros.**

Fueran establecidas como hipótesis en el análisis:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2$  - No se puede afirmar que la densidad del árido ligero afecta en la segregación
- $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$  - La densidad del árido ligero afecta en la segregación

Para todos los métodos de cuantificación de la segregación, el análisis ANOVA reveló que existen diferencias significativas entre las categorías analizadas, los p-valores son inferiores al nivel de significación del 5%. Dado el valor estadístico F calculado en la tabla ANOVA (Tabla 29), la información aportada por la variable explicativa (densidad del árido) es significativamente mejor que la que podría aportar únicamente la media, por lo tanto, el parámetro “densidad del árido ligero” afecta la segregación del hormigón.

Método	Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
IS <sub>Ultrasonidos</sub>	Modelo	3	0.042	0.014	5.237	< 0.05
	Error	204	0.546	0.003		
	Total corregido	207	0.588			
IS <sub>Ke</sub>	Modelo	3	0.470	0.157	14.471	< 0.05
	Error	204	2.209	0.011		
	Total corregido	207	2.679			
IS <sub>Ke AI</sub>	Modelo	3	0.601	0.200	12.186	< 0.05
	Error	204	3.354	0.016		
	Total corregido	207	3.956			
IS <sub>Navarrete-Lopez</sub>	Modelo	3	10.529	3.510	16.874	< 0.05
	Error	204	42.432	0.208		
	Total corregido	207	52.961			
IS <sub>Solak</sub>	Modelo	3	0.530	0.177	22.011	< 0.05
	Error	204	1.638	0.008		
	Total corregido	207	2.168			

**Tabla 29 - Resultados del ANOVA en la verificación de la influencia de la densidad de los áridos en la segregación del hormigón.**

En todos los métodos de cuantificación de la segregación, los resultados del Test de Tukey han clasificado las cuatro categorías en dos grupos (A y B), indicando la existencia de diferencias significativas entre ellas y visando la obtención de resultados más precisos, merecen ser analizadas



por separado. En todos los métodos se observó que los áridos con densidad de 269 kg/m<sup>3</sup> son clasificados en el mismo grupo que los áridos con densidad de 276 kg/m<sup>3</sup>, y que los áridos con densidad de 610 kg/m<sup>3</sup> son clasificados en el mismo grupo que los áridos con densidad de 676 kg/m<sup>3</sup>.

Método	Categoría	Medias	Grupos	
IS <sub>Ultrasonidos</sub>	269 kg/m <sup>3</sup>	0.956	A	
	276 kg/m <sup>3</sup>	0.942	A	
	610 kg/m <sup>3</sup>	0.977		B
	676 kg/m <sup>3</sup>	1.001		B
IS <sub>KE</sub>	269 kg/m <sup>3</sup>	0.855	A	
	276 kg/m <sup>3</sup>	0.818	A	
	610 kg/m <sup>3</sup>	0.945		B
	676 kg/m <sup>3</sup>	0.942		B
IS <sub>KE AI</sub>	269 kg/m <sup>3</sup>	0.844	A	
	276 kg/m <sup>3</sup>	0.797	A	
	610 kg/m <sup>3</sup>	0.947		B
	676 kg/m <sup>3</sup>	0.905	A	B
IS <sub>Navarrete-Lopez</sub>	269 kg/m <sup>3</sup>	67%	A	
	276 kg/m <sup>3</sup>	74%	A	
	610 kg/m <sup>3</sup>	22%		B
	676 kg/m <sup>3</sup>	34%	A	B
IS <sub>Solak</sub>	269 kg/m <sup>3</sup>	28%	A	
	276 kg/m <sup>3</sup>	29%	A	
	610 kg/m <sup>3</sup>	18%		B
	676 kg/m <sup>3</sup>	18%		B

**Tabla 30 - Resultados del Test de Tukey clasificando las categorías “269 kg/m<sup>3</sup>”, “276 kg/m<sup>3</sup>”, “610 kg/m<sup>3</sup>” y “676 kg/m<sup>3</sup>” (densidad de los áridos) en grupos de análisis.**

### 7.1.3.3. INFLUENCIA DEL TAMAÑO MÁXIMO DE LOS ÁRIDOS EN LA SEGREGACIÓN

Según la instrucción EHE-08, los áridos para hormigones se pueden designar en función

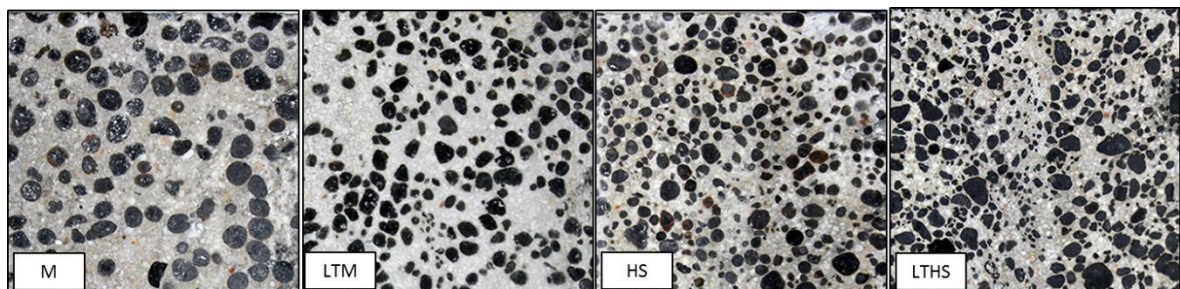
del tamaño máximo y mínimo del árido. La designación pose el siguiente formato:

$$\text{Árido (d/D)}$$

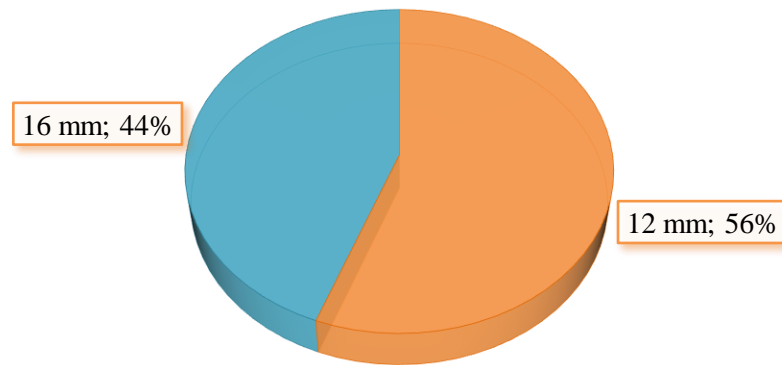
Donde:

D = Tamaño máximo del árido: Mínima abertura de tamiz (UNE-EN 933-2 [88]) por el que pasa más del 90% en peso, cuando además pase el total por el tamiz de abertura doble.

d = Tamaño mínimo del árido: Máxima abertura de tamiz por el que pasa menos del 10% en peso.



En este estudio han sido utilizados cuatro tipos distintos de áridos ligeros, todos de arcilla expandida, con dos fracciones granulométricas diferentes (6/16 y 4/12). Un análisis ANOVA complementado por un Test de Tukey (HSD) ha sido efectuado evaluando de manera cualitativa la influencia del tamaño máximo del árido en la segregación. En total se realizaron 208 observaciones, referentes a las dos mitades de cada una de las 104 probetas, siendo 44% con tamaño máximo de 16 mm y 56% con tamaño máximo de 12 mm (Figura 181)



**Figura 181 - Frecuencia de los datos cualitativos, tamaño máximo de los áridos ligeros.**

Fueran establecidas como hipótesis en el análisis:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2$  - No se puede afirmar que el tamaño máximo del árido afecta en la segregación
- $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$  - El tamaño máximo del árido ligero afecta en la segregación

Para todos los métodos de cuantificación de la segregación, el análisis ANOVA reveló que existen diferencias significativas entre las categorías analizadas, los p-valores son inferiores al nivel de significación del 5%. Dado el valor estadístico F calculado en la tabla ANOVA (Tabla 31), la información aportada por la variable explicativa (tamaño máximo del árido) es significativamente mejor que la que podría aportar únicamente la media, por lo tanto, el parámetro “tamaño máximo del árido ligero” afecta la segregación del hormigón.

Método	Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
IS <sub>Ultrasonidos</sub>	Modelo	1	0.084	0.084	30.763	< 0.05
	Error	830	2.269	0.003		
	Total corregido	831	2.353			
IS <sub>Ke</sub>	Modelo	1	1.193	1.193	103.964	< 0.05
	Error	830	9.528	0.011		
	Total corregido	831	10.722			
IS <sub>Ke AI</sub>	Modelo	1	1.421	1.421	81.917	< 0.05
	Error	830	14.398	0.017		
	Total corregido	831	15.819			
IS <sub>Navarrete-Lopez</sub>	Modelo	1	30.510	30.510	139.873	< 0.05
	Error	830	181.044	0.218		
	Total corregido	831	211.554			
IS <sub>Solak</sub>	Modelo	1	1.582	1.582	185.770	< 0.05
	Error	830	7.067	0.009		
	Total corregido	831	8.649			



**Tabla 31 - Resultados del ANOVA en la verificación de la influencia del tamaño máximo del árido en la segregación.**

En todos los métodos de cuantificación de la segregación, los resultados del Test de Tukey han clasificado las dos categorías en dos grupos (A y B), indicando la existencia de diferencias significativas entre ellas y visando la obtención de resultados más precisos, merecen ser analizadas por separado (por un lado, hormigones cuyos áridos son de tamaño máximo de 12 mm y por otro lado hormigones cuyos áridos son de tamaño máximo de 16 mm).

Método	Categoría	Medias	Grupos	
IS <sub>Ultrasonidos</sub>	12 mm	0.976	A	
	16 mm	0.956		B
IS <sub>Ke</sub>	12 mm	0.931	A	
	16 mm	0.855		B
IS <sub>Ke AI</sub>	12 mm	0.927	A	
	16 mm	0.844		B
IS <sub>Navarrete-Lopez</sub>	16 mm	67%	A	
	12 mm	29%		B
IS <sub>Solak</sub>	16 mm	28%	A	
	12 mm	19%		B

**Tabla 32 - Resultados del Test de Tukey clasificando las categorías “12 mm” y “16 mm” (tamaño máximo del árido) en grupos de análisis.**

## 7.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO VERIFICANDO LA INTERSECCIÓN DE MÚLTIPLES VARIABLES EXPLICATIVAS Y LA SEGREGACIÓN

Los resultados presentados en los apartados 7.1.1 y 7.1.2 nos permiten tener una idea de cuales parámetros deben ser llevados en consideración en el análisis de la segregación. En resumen, basándose en los resultados anteriores, podemos afirmar que los siguientes parámetros afectan en la segregación:

- Tipo de vibrado, categorías: en una o dos capas (Apartado 7.1.1.1);
- Tiempo de vibrado, categorías: 0, 5, 10, 20, 40, 80 o 160 segundos (Apartado 7.1.1.1);
- Tipo de árido, categorías: M, LTM, HS o LTHS (Apartado 7.1.3.1);
- Densidad del árido, categorías: 269, 276, 610 o 676 kg/m<sup>3</sup> (Apartado 7.1.3.2);
- Tamaño máximo del árido, categorías: 12 o 16 mm (Apartado 7.1.3.3).

Además, basándose en los resultados del apartado 7.1.1.2, no se puede afirmar que el tiempo de fabricación afecta en la segregación de los hormigones y de acuerdo con los resultados del Test de Tukey, los datos de las distintas categorías de tiempo de fabricación (15, 30, 60 y 90 minutos) pueden ser analizados como una serie única.

Coherente con los resultados de los tiempos de fabricación, los resultados del apartado 7.1.1.1 no permiten que se afirme que la consistencia del hormigón es un factor que afecta en la segregación de los hormigones fabricados en laboratorio y moldados en probetas cilíndricas. De acuerdo con los resultados del Test de Tukey, los datos de las distintas categorías de consistencia (10, 13, 17 y 22 cm) pueden ser analizados como una serie única.



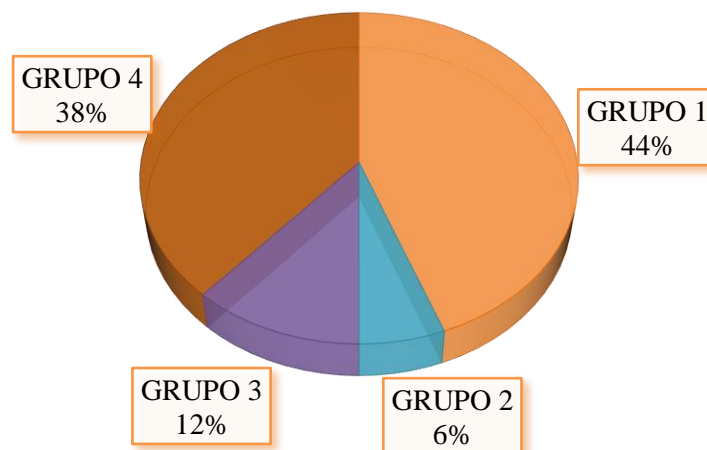
Según los resultados del apartado 7.1.2.1, la densidad real seca del hormigón esta relacionada a los valores del índice de segregación si dichos valores son obtenidos por los métodos de Ultrasonidos,  $K_e$  y  $K_{eR}$  por análisis de imágenes, pero no está relacionada a los valores de los índices de segregación obtenidos por los métodos propuestos por Navarrete-Lopez y Solak.

Un nuevo estudio estadístico ha sido efectuado comparando la intersección de múltiples variables explicativas y la segregación. Buscando resultados más precisos, los datos se han dividido en submuestras que agrupan los datos llevando en consideración los resultados obtenidos anteriormente. Las submuestras han sido agrupadas según la disposición de la Tabla 33.

Submuestra	Capas	Tipo de Árido	Densidad del Árido	Tamaño Máximo del Árido
Grupo 1	1 capa	M	$269 \leq \rho \leq 276 \text{ kg/m}^3$	16 mm
Grupo 2	1 capa	LTM	$269 \leq \rho \leq 276 \text{ kg/m}^3$	12 mm
Grupo 3	1 capa	HS y LTHS	$610 \leq \rho \leq 676 \text{ kg/m}^3$	12 mm
Grupo 4	2 capas	HS y LTHS	$610 \leq \rho \leq 676 \text{ kg/m}^3$	12 mm

**Tabla 33 - Grupos para el análisis comparando la intersección de múltiples variables explicativas y la segregación**

Para cada grupo de análisis, los índices de segregación (utilizando todos los métodos) han sido comparados con los tiempos de vibración, y para verificar la existencia de correlaciones entre la segregación y el tiempo de vibración fueran empleados coeficientes de correlación de Pearson y valores-p. En total se realizaron 208 observaciones, referentes a las dos mitades de cada una de las 104 probetas, siendo 44% del Grupo 1, 6% del Grupo 2, 12% del Grupo 3 y 38% del Grupo 4 (Figura 181).



**Figura 182 - Frecuencia de los datos cualitativos, grupos de análisis comparando la intersección de múltiples variables explicativas.**

Como se observa en la Tabla 34, los valores de la Correlación de Pearson entre el Índice Segregación y el tiempo total de vibración de las probetas en la mayoría de los casos son clasificados como “fuertes” o “muy fuertes” según la clasificación de Evans [87].





Método	Tiempo de Vibración Total (s)			
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
ISUltrasonidos	-0.608	-0.801	-0.416	-0.392
ISKe	-0.837	-0.936	-0.947	-0.834
ISKe AI	-0.827	-0.915	-0.896	-0.740
ISNavarrete-Lopez	0.888	0.986	0.866	0.716
ISSolak	0.907	0.986	0.861	0.727

Tabla 34 - Resultados de la Correlación de Pearson entre el Índice de Segregación y el tiempo de vibración para los métodos y grupos de datos estudiados.

Método	Tiempo de Vibración Total (s)			
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
ISUltrasonidos	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
ISKe	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
ISKe AI	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
ISNavarrete-Lopez	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
ISSolak	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05

Tabla 35 - Resultados de los valores-p entre el Índice de Segregación y el tiempo de vibración para los métodos y grupos de datos estudiados.

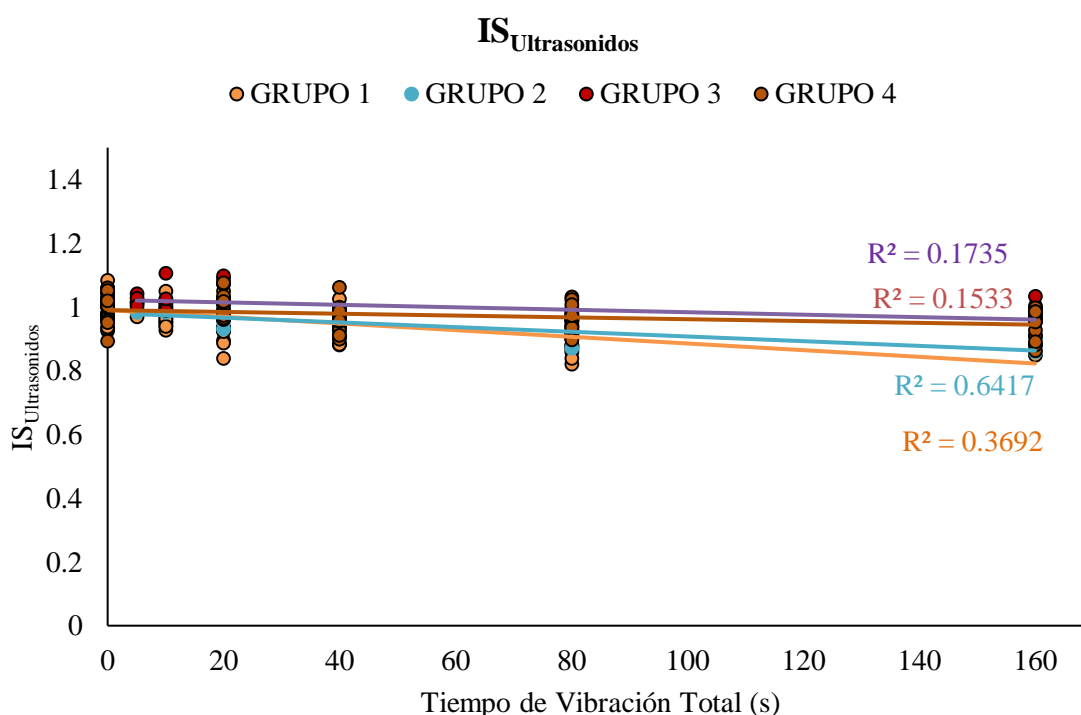


Figura 183 - Índice de Segregación por Ultrasonidos versus tiempo total de vibración, análisis por grupos.

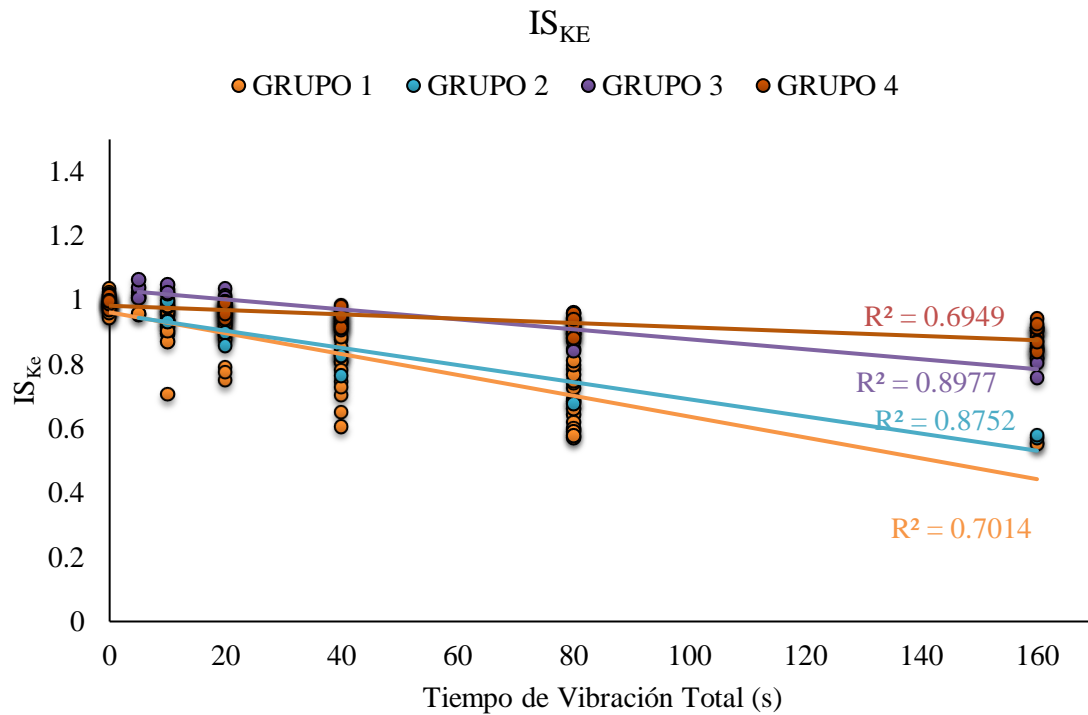


Figura 184 - Índice de Segregación de Ke et al versus tiempo total de vibración, análisis por grupos.

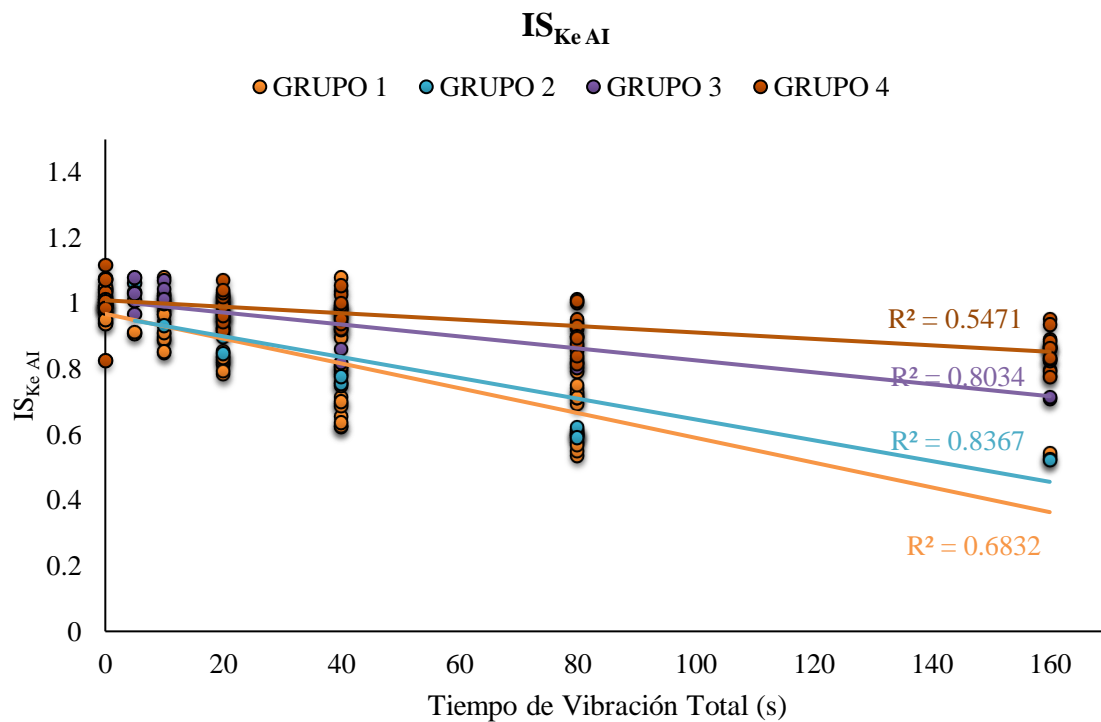


Figura 185 - Índice de Segregación de Ke et al por análisis de imágenes versus tiempo total de vibración, análisis por grupos.

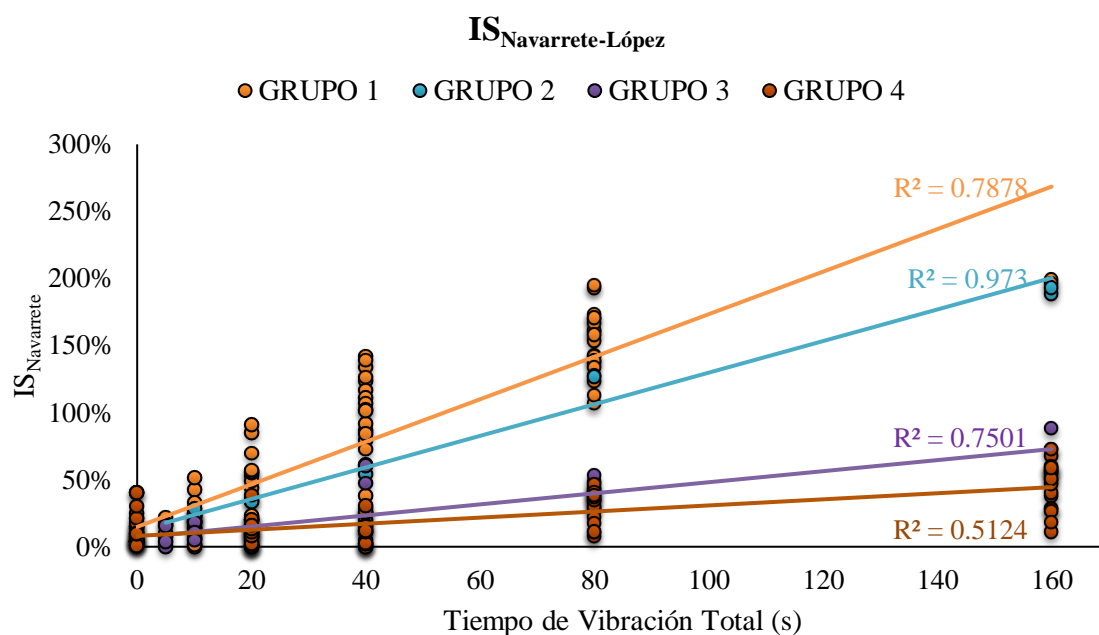


Figura 186 - Índice de Segregación de Navarrete-Lopez versus tiempo total de vibración, análisis por grupos.

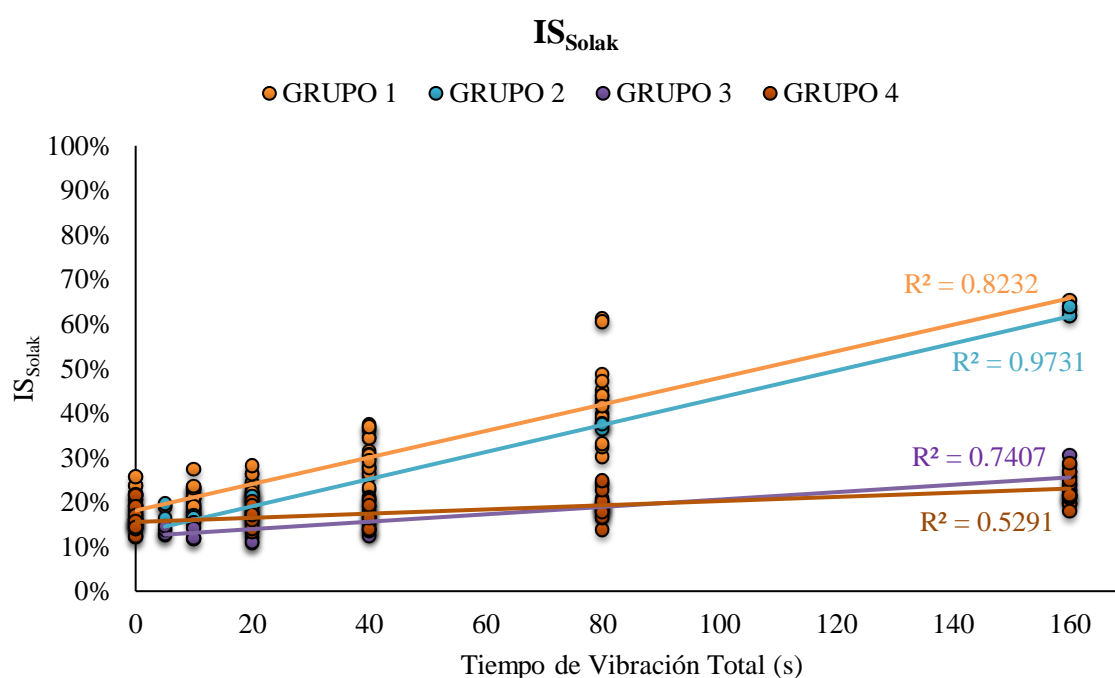


Figura 187 - Índice de Segregación de Solak versus tiempo total de vibración, análisis por grupos.

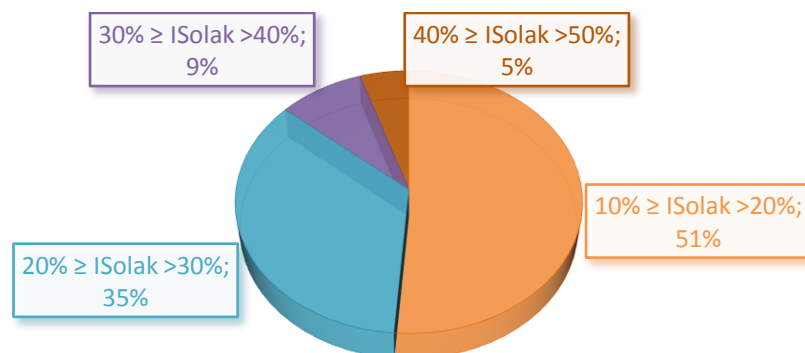
### 7.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO VERIFICANDO LA INFLUENCIA DE LA SEGREGACIÓN EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN.

Con el objetivo de analizar si la segregación del hormigón afecta directamente en la resistencia a compresión, un análisis ANOVA complementado por el Test de Tukey (HSD) ha sido efectuado evaluando de manera cualitativa este parámetro. Para ello, se adoptó como método de cuantificación



de la segregación el Índice de Segregación de Solak ( $I_{Solak}$ ) cuyos valores se encuentran entre 12% y 49% que se contrastaran con los valores de resistencia media (media entre los cuatro octavos de una mitad de probeta) de cada muestra.

Con el objetivo de analizar de manera cualitativa, los datos se agruparon en las categorías:  $10\% \geq I_{Solak} > 20\%$ ;  $20\% \geq I_{Solak} > 30\%$ ;  $30\% \geq I_{Solak} > 40\%$  y  $40\% \geq I_{Solak} > 50\%$ . En total se realizaron 160 observaciones, referentes a las dos mitades de cada una de las 80 probetas (HL1, HL2, HL3 Y HL4), siendo 51% con  $10\% \geq I_{Solak} > 20\%$ ; 35% con  $20\% \geq I_{Solak} > 30\%$ ; 9% con  $30\% \geq I_{Solak} > 40\%$  y 5% con  $40\% \geq I_{Solak} > 50\%$  (Figura 188).



**Figura 188 - Frecuencia de los datos cualitativos, Índice de Segregación de Solak.**

Fueran establecidas como hipótesis en el análisis:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2$  - No se puede afirmar que la segregación afecta en la resistencia a compresión.
- $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$  - La segregación afecta en la resistencia a compresión.

El análisis ANOVA reveló que existen diferencias significativas entre las categorías analizadas, los p-valores son inferiores al nivel de significación del 5%. Dado el valor estadístico F calculado en la tabla ANOVA (Tabla 36), la información aportada por la variable explicativa (Índice de Segregación de Solak) es significativamente mejor que la que podría aportar únicamente la media, por lo tanto, el parámetro “segregación del hormigón” afecta la resistencia a compresión del hormigón.

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	3	1074	358	6.595	<0.005
Error	156	8469	54		
Total corregido	159	9543			

*Calculado contra el modelo  $Y = \text{Media}(Y)$*

**Tabla 36 - Resultados del ANOVA en la verificación de la influencia de la segregación en la resistencia a compresión del hormigón.**

Los resultados del Test de Tukey han clasificado las cuatro categorías en dos grupos (A y B), indicando la existencia de diferencias significativas entre ellas. Como observase en la Tabla 37, el comportamiento de la resistencia a compresión en función de la segregación parece seguir patrones diferentes para valores abajo o a cima de los 20% o 30 %.



Categoría	Medias	Grupos	
$10\% \leq I_{Solak} < 20\%$	23.6	A	
$20\% \leq I_{Solak} < 30\%$	20.5	A	B
$30\% \leq I_{Solak} < 40\%$ ;	16.3		B
$40\% \leq I_{Solak} < 50\%$	16.0		B

**Tabla 37 - Resultados del Test de Tukey clasificando las categorías  $10\% \geq I_{Solak} > 20\%$ ;  $20\% \geq I_{Solak} > 30\%$ ;  $30\% \geq I_{Solak} > 40\%$  y  $40\% \geq I_{Solak} > 50\%$  en grupos de análisis.**

En el proceso de la segregación de los hormigones, con el desplazamiento de los áridos dentro de la matriz de mortero, hay la tendencia del surgimiento de zonas de mayor o menor resistencia. Para evaluar de manera cuantitativa la influencia de la segregación en la resistencia a compresión del hormigón, buscando evaluar este incremento o descenso de resistencia, dos índices fueran establecidos:

**Incremento de la resistencia:** representa el incremento de resistencia de una mitad de probeta, comparando la resistencia máxima registrada en los octavos de una mitad de probeta, con la resistencia media de los octavos de la misma probeta. Se debe, en la mayoría de las veces, a la concentración excesiva de mortero en un octavo, en la mayoría de los casos ocurre en el octavo inferior e es calculado por:

$$IR (\%) = \frac{Fck_{máximo}}{Fck_{medio}} - 1$$

**Descenso de la resistencia:** representa el descenso de resistencia de una mitad de probeta, comparando la resistencia mínima registrada en los octavos de una mitad de probeta, con la resistencia media de los octavos de la misma probeta. Se debe, en la mayoría de las veces, a la concentración excesiva de áridos ligeros en un octavo, en la mayoría de los casos ocurre en el octavo inferior e es calculado por:

$$DR (\%) = \left| \frac{Fck_{mínimo}}{Fck_{medio}} - 1 \right|$$

La Figura 189 representa la variación del incremento de la resistencia a compresión en función del tiempo de vibreo. Notase que los resultados son coherentes con los resultados del ANOVA y del Test de Tukey. Los hormigones que presentaron índices de segregación inferiores a los 30% ( $I_{Solak}$ ), no presentan ninguna correlación entre el incremento de la resistencia y la segregación. Sin embargo, a partir de los 30 %, a medida que el Índice de Segregación aumenta, el incremento de resistencia de los octavos superiores también aumenta.

Este análisis se queda más evidente cuando separamos los datos por tipo de hormigón (Figura 190) y verificamos que las correlaciones de los homigones HL1, HL2 Y HL3, que ha presentado  $I_{Solak}$  inferiores a los 30%, son muy pequeñas: 0,0711; 0,0399 y 0,0936 respectivamente.



Es relevante salientar que los dos hormigones que se vibraron en dos capas (HL1 Y HL2) han presentado menor segregación, para tiempos de vibrado incluso superiores a los hormigones vibrados en una capa, y por consecuencia de su mejor homogeneidad presentaron menores variaciones en la resistencia a compresión de sus secciones.

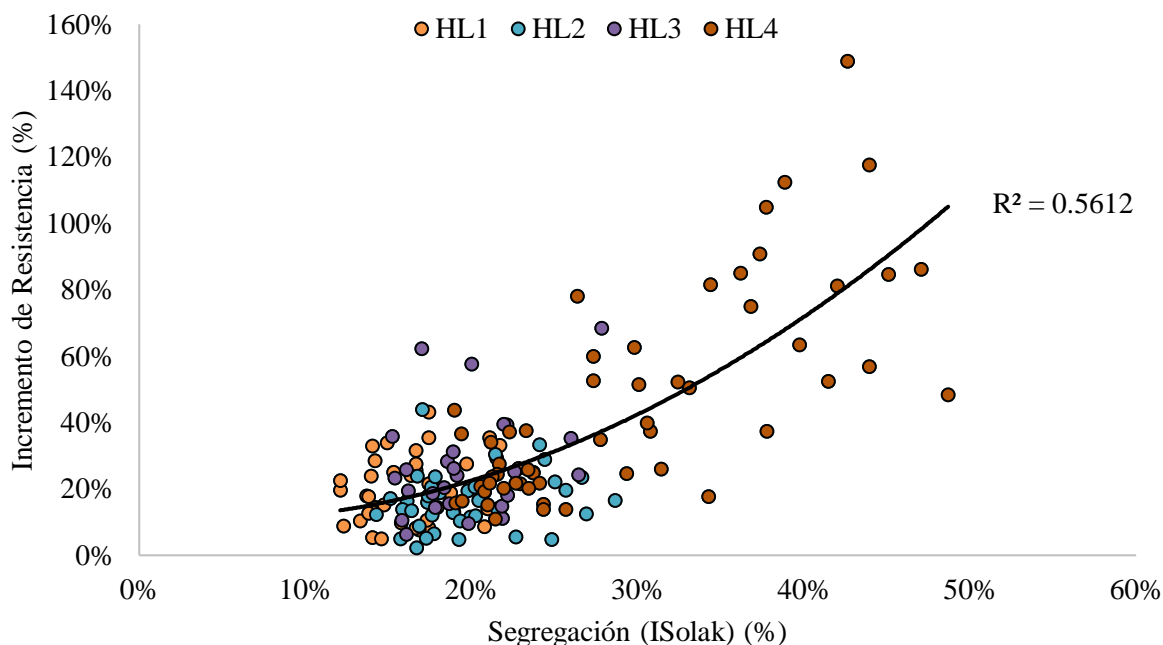


Figura 189 - Incremento de la resistencia a compresion en funcion de la segregacion (análisis conjunto).

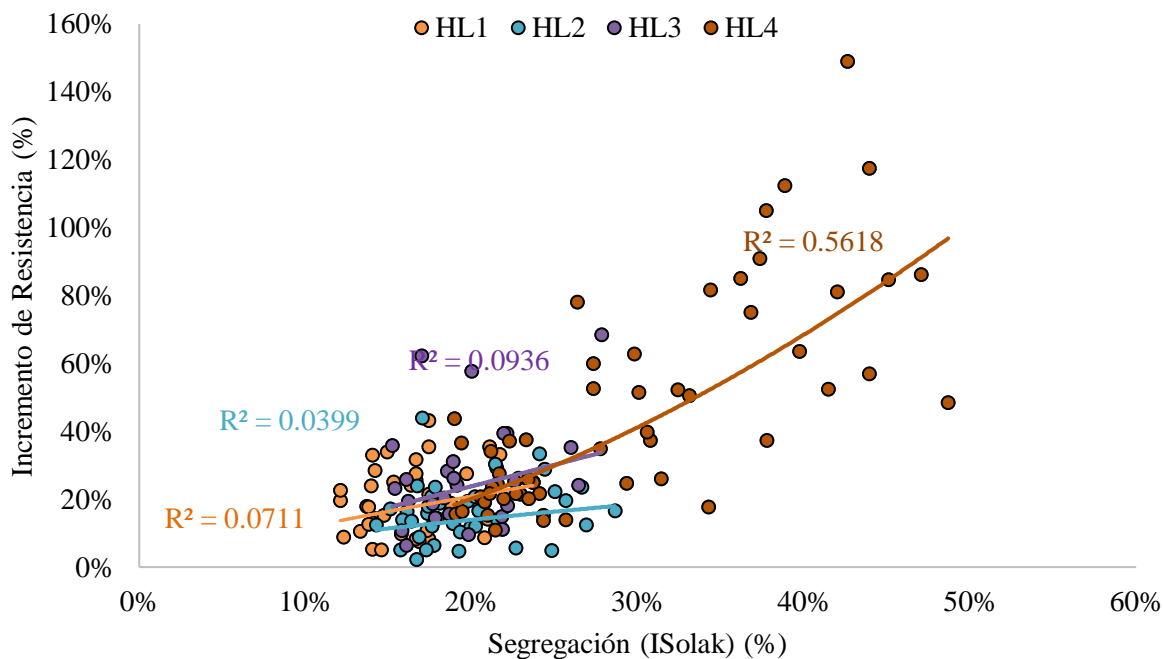


Figura 190 - Incremento de la resistencia a compresión en función de la segregación (análisis por tipo de hormigón).



Del punto de vista de seguridad, ciertamente entender el descenso de resistencia de las secciones que pasaran a contener una cantidad excesiva de áridos debido a la segregación es más relevante que el incremento de las secciones que pasaran a concentrar más mortero. La Figura 191 representa la variación del descenso de la resistencia a compresión en función del tiempo de vibrado. Notase que los resultados son coherentes con los resultados del ANOVA y del Test de Tukey, y como se imaginaba, coherentes con los resultados del incremento de resistencia. Los hormigones que presentaron índices de segregación inferiores a los 30% ( $I_{Solak}$ ), no presentan ninguna correlación entre el descenso de resistencia y la segregación. Sin embargo, a partir de los 30 %, a medida que el Índice de Segregación aumenta, el descenso de resistencia de los octavos superiores también aumenta.

Este análisis se queda más evidente cuando separamos los datos por tipo de hormigón (Figura 192) y verificamos que las correlaciones de los hormigones HL1, HL2 Y HL3, que ha presentado  $I_{Solak}$  inferiores a los 30%, son muy pequeñas: 0,0019; 0,0016 y 0,0852 respectivamente.

Análogo al comportamiento del incremento de resistencia, es relevante comentar que los dos hormigones que se vibraron en dos capas (HL1 Y HL2) han presentado menor segregación, para tiempos de vibrado incluso superiores a los hormigones vibrados en una capa, y por consecuencia de su mejor homogeneidad presentaron menores variaciones en el descenso de la resistencia a compresión.

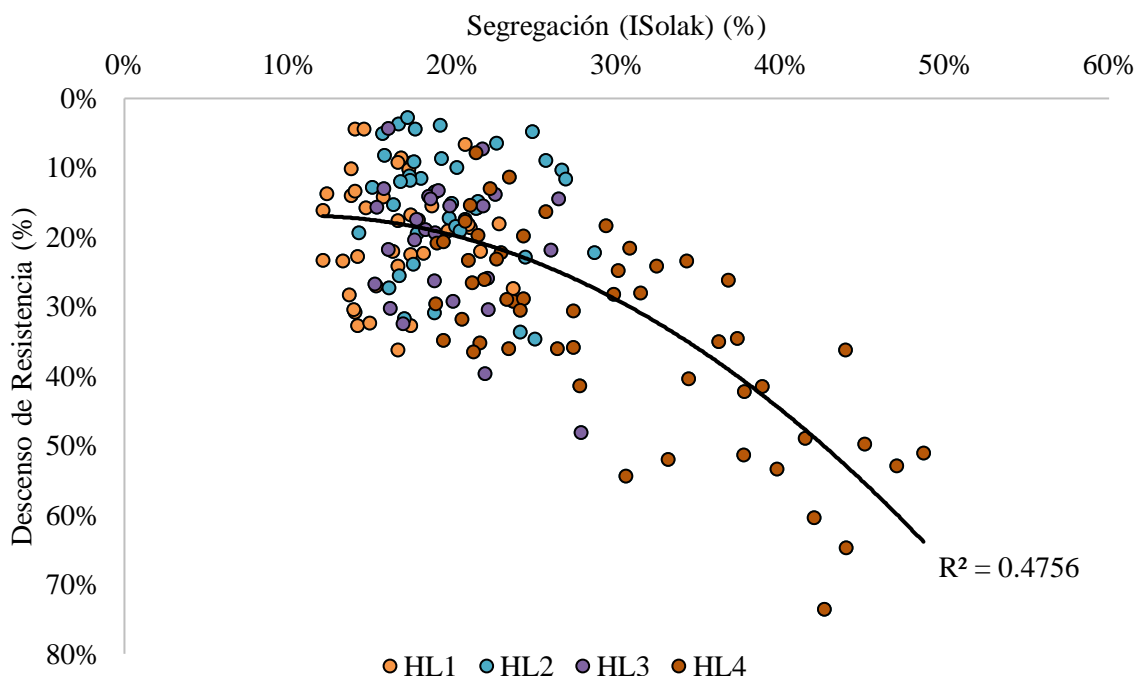
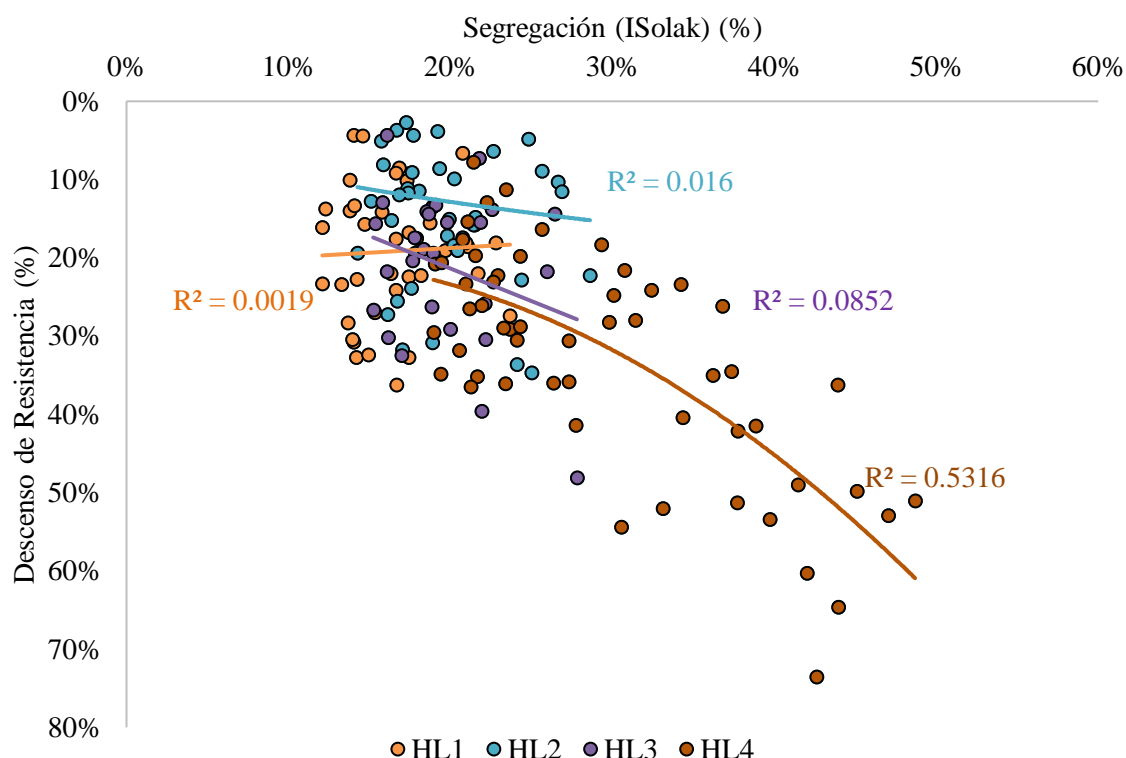


Figura 191 – Descenso de la resistencia a compresión en función de la segregación (análisis conjunto).



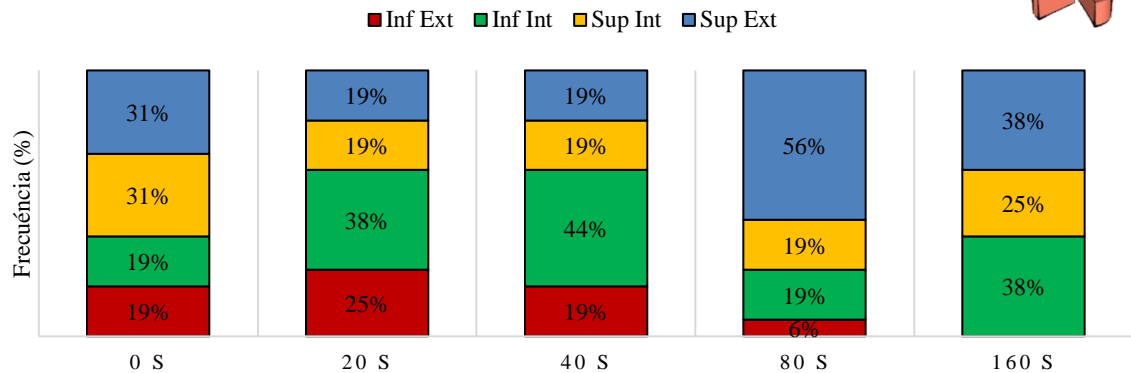
**Figura 192 - Descenso de la resistencia a compresión en función de la segregación (análisis por tipo de hormigón).**

Un análisis interesante es verificar como se ha desplazado la sección crítica (octavo con menor resistencia) en función del tiempo de vibrado. La Figura 193 representan la frecuencia de la sección crítica en cada octavo, para cada tiempo de vibrado, para los hormigones fabricados en dos capas. En los hormigones sin vibrar (tiempo de vibrado igual a 0s) la sección crítica ha sido registrada en todos los octavos, con predominancia de los dos superiores (amarillo y azul). Con el aumento de la energía de vibración, la sección crítica se tornó más frecuente en los octavos centrales y superiores, hasta que en la energía máxima de vibración ( $t = 160s$ ) no se registró ningún caso de secciones críticas en el octavo inferior (rojo).

En los hormigones vibrados en una capa, este desplazamiento de la sección crítica hacia el octavo superior es todavía más evidente. En la Figura 194 se observa que en tiempos pequeños de vibrado, la frecuencia de la sección crítica está bien distribuida en los octavos, y con el aumento del tiempo de vibrado, el octavo superior (azul) poco a poco va registrando más casos de sección crítica, hasta que en el tiempo máximo ( $t = 80 s$ ), en 69% de los casos la sección crítica se encuentra en el octavo superior.

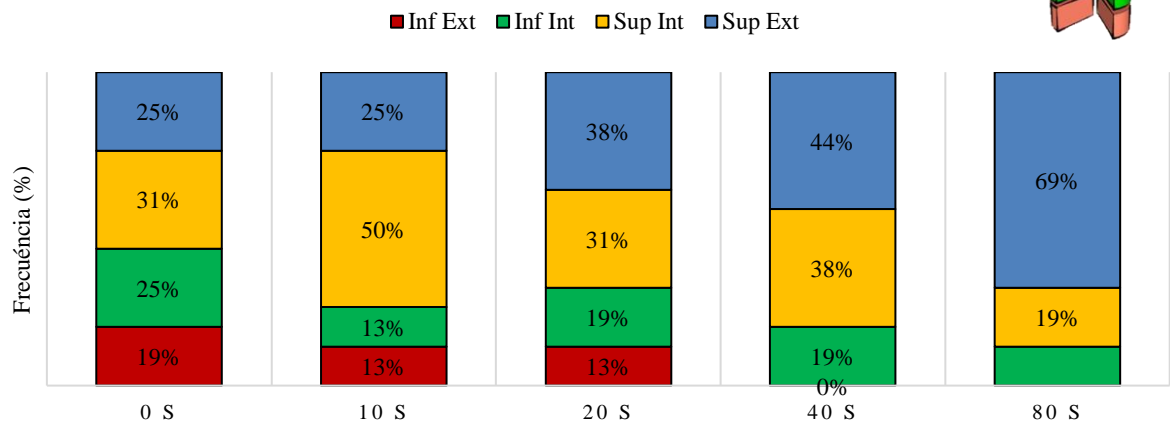


**FRECUENCIA DE LA SECCIÓN CRÍTICA EN CADA OCTAVO, PARA CADA TIEMPO DE VIBRADO (FABRICADO EN DOS CAPAS)**



**Figura 193 - Frecuencia de la sección crítica en cada octavo, para cada tiempo de vibrado (fabricado en dos capas)**

**FRECUENCIA DE LA SECCIÓN CRÍTICA EN CADA OCTAVO, PARA CADA TIEMPO DE VIBRADO (FABRICADO EN UNA CAPA)**



**Figura 194 - Frecuencia de la sección crítica en cada octavo, para cada tiempo de vibrado (fabricado en una capa)**



## 9. CONCLUSIONES

- El cálculo de las densidades y de los índices de segregación con el método de análisis de imágenes propuesto se muestra como una alternativa fiable al método experimental, una vez que los resultados obtenidos con los dos métodos presentan poca dispersión entre sí.
- En los procedimientos de laboratorio, el método de análisis de imágenes se mostró como una opción eficiente para cuantificar la proporción de materiales de las probetas. Durante el procedimiento por análisis de imagen las etapas de secado y pesado no son necesarias, lo que resulta en un ahorro de tiempo en la investigación.
- Con el método de análisis de imagen se torna posible seccionar la probeta en un número mayor de zonas y así determinar un índice de segregación que no se limita solamente a octavos de probeta. Un número mayor de secciones lleva a la obtención de un índice de segregación más coherente con la realidad.
- El nuevo método para la cuantificación de la segregación propuesto en este trabajo ( $IS_{Solak}$ ) se mostró como una opción eficaz para la cuantificación del fenómeno, tanto de manera numérica como gráfica. Además, se mostró como una opción viable mismo para los casos en que la segregación no ocurre en los extremos de las probetas, una vez que considera todos los datos de la sección.
- La precisión del método por análisis de imágenes depende de una serie de factores relacionados a la manera como los datos son captados y tratados. Durante el fotografiado de las secciones, la buena calidad de las imágenes, de las condiciones de iluminación y principalmente de la buena distinción entre la matriz de mortero y los áridos gruesos son parámetros que deben ser llevados en consideración. Durante las etapas de tratamiento de las imágenes, las sombras, los vacíos y ruidos dificultan la clasificación de cada pixel entre “árido” o “mortero”. En este punto, una pequeña parte de los datos inevitablemente acaba perdiéndose y eso se refleja como la diferencia entre los métodos de  $Ke$  y  $Ke$  por análisis de imágenes.
- Para una mitad de probeta, la densidad medidas experimentalmente por balanza hidrostática, es creciente en función del aumento del tiempo de vibrado. Este comportamiento se debe a la eliminación del aire atrapado y por consecuencia, el aumento de la compactación del hormigón.
- Para los octavos de probeta, en los tiempos de vibrado iniciales (homogeneidad en el interior de las probetas) los cuatro octavos de cada mitad presentaron densidades similares. Con el aumento del tiempo de vibrado, los octavos superiores presentaron un descenso en los valores de sus densidades debido al aumento de la concentración de áridos ligeros en la zona superior de las probetas. De manera contraria, en los octavos inferiores la densidad aumenta





con el incremento del tiempo de vibrado, debido al aumento de la concentración de mortero en la zona inferior de las probetas.

- El estudio comparativo efectuado con las velocidades ultrasónicas demuestra resultados coherentes con los datos obtenidos por análisis de imagen. El aumento de las densidades de los octavos inferiores debido al fenómeno de segregación provocó un aumento de las VPUs.
- El Índice de Segregación por Ultrasonidos ha presentado la menor de las correlaciones con los demás métodos, pero sin embargo se ha mostrado como el método más rápido para determinar el índice de segregación.
- El análisis estadístico reveló que el tipo de vibrado, el tiempo de vibrado, el tipo de árido, la densidad del árido y el tamaño máximo del árido, son parámetros que afectan en la segregación del hormigón. Sin embargo, cuanto a la consistencia y al tiempo de fabricación, los resultados del análisis estadístico no permiten una conclusión evidente, y estos parámetros carecen de más investigación.
- Los hormigones cuyos áridos poseen menor densidad, presentaron un ligero aumento en la segregación. Eso puede ser verificado comparando los Grupos 1 y 2 con los Grupos 3 y 4, en el análisis presentado en el apartado 7.2 o a través de los gráficos de
- Los dos hormigones que se vibraron en dos capas (HL1 Y HL2) han presentado menor segregación, para tiempos de vibrado incluso superiores a los hormigones vibrados en una capa, y por consecuencia de su mejor homogeneidad presentaron menores variaciones en la resistencia a compresión de sus secciones.
- Para los hormigones estudiados, el descenso de la resistencia del hormigón se registró con más evidencia a partir de índices de segregación ( $IS_{Solak}$ ) del orden de los 30%, pero sin dudas, otros ensayos de compresión considerando probetas con dimensiones estándar en lugar de los testigos extraídos de los octavos podrían explicar con más precisión este fenómeno.



## REFERENCIAS

1. Hwang, C.L. and M.F. Hung, *Durability design and performance of self-consolidating lightweight concrete*. Construction and Building Materials, 2005. **19**(8): p. 619-626.
2. Sari, D. and A.G. Pasamehmetoglu, *The effects of gradation and admixture on the pumice lightweight aggregate concrete*. Cement and Concrete Research, 2005. **35**(5): p. 936-942.
3. Rossignolo, J.A., M.V.C. Agnesini, and J.A. Morais, *Properties of high-performance LWAC for precast structures with Brazilian lightweight aggregates*. Cement & Concrete Composites, 2003. **25**(1): p. 77-82.
4. Rossignolo, J.A., *Concreto Leve Estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações*. 2009, São Paulo: PINI.
5. Hormigón, C.P.d., *EHE-08: Instrucción de hormigón estructural: con comentarios de los miembros de la Comisión Permanente del Hormigón*. 2008, Ministerio de Fomento: Madrid.
6. Standard, T.E., *Eurocode 2: Design of concrete structures*. 2004.
7. ACI, *ACI 213R-03 - Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete*. 2003.
8. International, A., *ASTM C330-04 - Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concret*. 2004: West Conshohocken, PA.
9. Técnicas, A.-A.B.d.N., *Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento*. 2015.
10. Standardization, N.C.f.B., *Concrete structures - Design and detailing rules*. 2003. p. 128.
11. A., R.J., *Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos - dosagem, produção, propriedades e microestrutura*. 2003: São Paulo.
12. Bremner, T.W., T.A. Holm, and V.F. Stepanova, *Lightweight Concrete - A Proven Material for Two Millennia*, in *Advances in Cement and Concrete*, A.S.o.C. Engineers, Editor. 1994: Durham, New Hampshire, United States. p. 37-41.
13. S., C. and B. L., *Lightweight aggregate concrete: science, technology and applications*. 2002, Noyes Publications: USA. p. 409.
14. ESCSI - Expanded Shale, C.a.S.I., *Lightweight Concrete - History, Application, Economics*. 1971: Salt Lake City, Utah. p. 44.
15. ANGELIN, A.F., *Concreto leve estrutural - Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais*, in *FACULDADE DE TECNOLOGIA*. 2014, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS.
16. EuroLightCon, *Pumping of lightweight aggregate concrete based on expanded clay in Europe*, in *Economic Design and Construction with Light Weight Aggregate Concrete*. 2000.
17. Palacios, G.Á., *Hormigón ligero. Aspectos técnicos y estéticos.*, ed. CEMEX. 2012.
18. Asgeirsson, H., *Hekla pumice in Lightweight Concrete*. 1994, Icelandic Building Research Institute - IBRI. p. 45.
19. Eurolightcon. *LWAC Material Properties, State-of-the-Art*. in *Economic Design and Construction with Lightweight Aggregate Concrete*. 1998. Norway.
20. Spitzner, J., *A Review of the Development of Lightweight Aggregate - History and Actual Survey*, in *CEB/FIP International Symposium on Structural Lightweight Aggregate Concrete*, e.a. I. Holand, Editor. 1995: Sandefjord, Norway. p. 13-21.
21. Gomes Neto, D.P., *Dosagem de microconcretos leves de alto desempenho para produção de pré-fabricados de pequena espessura - Estudo de caso*, in *Escola de Engenharia de São Carlos*. 1998, Universidade de São Carlos: São Carlos.



22. Moravia, W.G., *Influência de parâmetros microestruturais na durabilidade do concreto leve produzido com argila expandida*. 2007, Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte.
23. Owens, P.L., *Lightweight aggregates for structural concrete*, in *Structural Lightweight Aggregate Concrete*. 1993, Chapman & Hall: London. p. 1-18.
24. Weigler, H., Karl, S., *Stahlleichtbeton*, B. Gmbh, Editor. 1972: Berlin.
25. Borja, E.V., *Efeito da adição da argila expandida e adições minerais na formulação de concretos estruturais leves autoadensáveis*. 2011, Universidade Federal do Rio Grande do Norte: Natal.
26. CEB-FIP, C.E.-I.d.B.a.F.I.d.I.P.-. *Lightweight aggregate concrete - Manual of design and technology*. 1977, The Construction Press.
27. Kayali, O., M.N. Haque, and B. Zhu, *Some characteristics of high strength fiber reinforced lightweight aggregate concrete*. *Cement and Concrete Composites*, 2003. **25**(2): p. 207-213.
28. Hoff, G.C., *High strenght lightwheight aggregate concrete - current status and future needs*. 1990: Detroit. p. 619-644.
29. PG, D., *Production and properties of Lytag aggregate fully utilised for the North Sea*, in *International symposium on structural lightwheight aggregate concrete*. 1998: Sandefjord, Norway. p. 628-639.
30. Kayali, O. and B. Zhu, *Chloride induced reinforcement corrosion in lightweight aggregate high-strength fly ash concrete*. *Const. Build Mater*, 2005. **19**: p. 327-336.
31. MH, W. and H.R. R., *Passive film formation and corrosion initiation in lightweight concrete structures as compared to self compacting and ordinary concrete structures at elevated temperature in chloride rich marine environment*. *Construction and Building Materials*, 2015. **78**: p. 144-152.
32. Bertolini, L., et al., *Corrosion of Steel in Concrete*. 2013, Weinheim: Wiley-VCH.
33. Bertolini, L., et al., *MSWI ashes as mineral additions in concrete*. *Cement and Concrete Research*, 2004. **34**(10): p. 1899-1906.
34. Siddique, R., *Waste Materials and By-Products in Concrete*, Springer-Verlag. 2008, Berlin: Springer-Verlag.
35. F.S. Barbosa, M.C.R.F., A.L. Beaucour, S. Ortola, *Evaluation of aggregate gradation in lightweight concrete via image processing*. *Constr. Build. Mater.*, 2012. **29**: p. 7-11.
36. Rossignolo, J.A. and M.V.C. Agnesini, *Effect of curing condition on properties of polymer-modified lightweight aggregate concrete*. *Cement and Concrete Research*, 2002. **32**: p. 329-334.
37. A., R.J. and A.M.V. C., *Durability of polymer-modified lightweight aggregate concrete for low-thickness precast components*. 2005: La Plata, Argentina. p. 171-178.
38. A., H.T. and B.T. W., *High Strenght Lightweight Aggregate Concrete*, in *High perfomance concrete: properties and aplication*. 1994: New York. p. 341-374.
39. Al-Khaiat, H. and M.N. Haque, *Effect of initial curing on early strength and physical properties of a lightweight concrete*. *Cement and Concrete Research*, 1998. **28**(6): p. 859-866.
40. Mehta, P.K. and P.J.M. Monteiro, *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. 1994, São Paulo: PINI. 580.
41. Damtoft, J.S., et al., *Sustainable development and climate change initiatives*. *Cement and Concrete Research*, 2008. **38**(2): p. 115-127.



- 42.238, A.C., *Report on Measurements of Workability and Rheology of Fresh Concrete*. 2008: Farmington Hills.
43. Tattersall, G.H. and P.H. Baker, *The effect of vibration on the rheological properties of fresh concrete*. Mag. Concr. Res., 1988(40): p. 79–89.
44. F. de Larrard, C.H.T.S.J.C.S.M.J.F.C. and F. Derkx, *A New Rheometer for Soft-to-Fluid Fresh Concrete*. Materials Journal. **94**(3).
45. Chia, K.S., C.C. Kho, and M.H. Zhang, *Stability of fresh lightweight aggregate concrete under vibration*. ACI Materials Journal, 2005. **102**(5): p. 347-354.
46. Safawi, M.I., I. Iwaki, and T. Miura, *A study on the applicability of vibration in fresh high fluidity concrete*. Cement and Concrete Research, 2005. **35**(9): p. 1834-1845.
47. Petrou, M.F., et al., *Influence of mortar rheology on aggregate settlement*. ACI Structural Journal, 2000. **97**(4): p. 479-485.
48. Panesar, D.K. and B. Shindman, *The effect of segregation on transport and durability properties of self consolidating concrete*. Cement and Concrete Research, 2012. **42**(2): p. 252-264.
49. Han, J.G., et al., *2D image analysis method for evaluating coarse aggregate characteristic and distribution in concrete*. Construction and Building Materials, 2016. **127**: p. 30-42.
50. Newman, J.B., *Properties of structural lightweight concrete in structural lightweight concrete*. 1993, London: Chapman & Hall.
51. Petrou, M.F., et al., *A unique experimental method for monitoring aggregate settlement in concrete*. Cement and Concrete Research, 2000. **30**(5): p. 809-816.
52. Navarrete, I. and M. Lopez, *Understanding the relationship between the segregation of concrete and coarse aggregate density and size*. Construction and Building Materials, 2017. **149**: p. 741-748.
53. Shen, L., et al., *Testing dynamic segregation of self-consolidating concrete*. Construction and Building Materials, 2015. **75**: p. 465-471.
54. Esmailkhanian, B., et al., *Effects of mix design parameters and rheological properties on dynamic stability of self-consolidating concrete*, in *Cement & Concrete Composites*. 2014. p. 21–28.
55. Barbosa, F.S., et al., *Image processing applied to the analysis of segregation in lightweight aggregate concretes*. Construction and Building Materials, 2011. **25**(8): p. 3375-3381.
56. Larrard, F.D. and A. Belloc, *L'influence du granulat sur la resistance a la compression des betons*. Bull. Des Lab. Des Ponts Chaussées, 1999: p. 41-52.
57. Ke, Y., et al., *Comportement Mécanique des Bétons de Granulats Légers : Étude Expérimentale et Modélisation* Rencontres Du Génie Civ. Urbain, Costr. Les Nouv. Défis., 2006. **24**.
58. Gerritse, A., *Design considerations for reinforced lightweight concrete*. Int. J. Cem. Compos. Light. Concr., 1981. **3**: p. 57-69.
59. Bui, V.K., et al., *Rapid testing method for segregation resistance of self-compacting concrete*. Cement and Concrete Research, 2002. **32**(9): p. 1489-1496.
60. Ke, Y., et al., *Influence of volume fraction and characteristics of lightweight aggregates on the mechanical properties of concrete*. Construction and Building Materials, 2009. **23**(8): p. 2821-2828.
61. Ke, Y., *Characterization of the mechanical behavior of lightweight aggregate concretes : experiment and modelling*. 2008, Université de Cergy-Pontoise.
62. Diamond, S., *Considerations in image analysis as applied to investigations of the ITZ in concrete*. Cement & Concrete Composites, 2001. **23**(2-3): p. 171-178.



63. Scrivener, K.L., et al., *Analysis of phases in cement paste using backscattered electron images, methanol adsorption and thermogravimetric analysis*. Mater. Res. Soc. Symp. Proc., 1987. **85**: p. 67-76.
64. Y. Ke, S.O., A.L. Beaucour, R. Cabrillac, H. Dumontet, *Influence of aggregates on mechanical behavior of lightweight aggregate concrete: experimental characterization and modeling*. in *EURO Mediterr. Congr. Adv. GEOMATERIALS Struct.* 2006.
65. Jacek Kwasny, S.M.A., et al., *Influence of the type of coarse lightweight aggregate on properties of semilightweight self-consolidating concrete*, in *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2012. p. 1474–1483.
66. Navarrete, I., *Stratified Concrete: Understanding its Stratification Process and Modelling its Structural Behavior*. 2015, Pontificia Universidad Católica de Chile: Santiago de Chile.
67. Navarrete, I. and M. Lopez, *Estimating the segregation of concrete based on mixture design and vibratory energy*, in *Construction and Building Materials*. 2016. p. 384–390.
68. Esmaeilkhani, B., et al., *New test method to evaluate dynamic stability of self-consolidating concrete*, in *ACI Materials Journal*. 2014. p. 299 – 308.
69. Baddeley, A. and E.B. Vedel Jensen, *Stereology for Statisticians*. 2005.
70. Masad, E., et al., *Internal structure characterization of asphalt concrete using image analysis*. Journal of Computing in Civil Engineering, 1999. **13**(2): p. 88-95.
71. Scrivener, K.L., *Backscattered electron imaging of cementitious microstructures: understanding and quantification*. Cement & Concrete Composites, 2004. **26**(8): p. 935-945.
72. Carino, J.N. and V.M. Molhotra, *Maturity method*, in *Handbook on Non-destructive Testing of Concrete*, J.N. Carino and V.M. Molhotra, Editors. 1991, CRC Press. p. 101-146.
73. Naik, T.R. and V.M. Malhotra, *Chapter 7: the ultrasonic pulse velocity method*, in *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete*, N.J. Malhotra and J.N. Carino, Editors. 1991, CRC Press. p. 169-188.
74. Chen, X., et al., *Empirical relations between ultrasonic P-wave velocity, porosity and uniaxial compressive strength*. RECORDER, 2015. **40**(5).
75. Schuyer, J., *Sound velocity in polyethylene*. Journal of Polymer Science, 1959. **36**(130): p. 475-483.
76. Piché, L., *Ultrasonic velocity measurement for the determination of density in polyethylene*. Polymer Engineering & Science, 1984. **24**(17): p. 1354-1358.
77. Martin, J. and M.C. Forde, *Influence of concrete properties on impulse hammer spectrum and compression wave velocity*. Construction and Building Materials, 1995. **9**(4): p. 245-255.
78. Benaicha, M., et al., *Prediction of Self-Compacting Concrete homogeneity by ultrasonic velocity*. Alexandria Engineering Journal, 2015. **54**(4): p. 1181-1191.
79. Fernández-Fanjul, A. and A.J. Tenza-Abril, *Méthode FANJUL: Dosage pondéral des bétons légers et lourds*. Ann. Du Bâtiment Des Trav. Publics., 2012. **5**: p. 32-50.
80. AENOR, A.E.d.N.-. *Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 3: Determinación de la densidad aparente y la porosidad*. 1999.
81. Fernández-Fanjul, A., A.J. Tenza-Abril, and F. Baeza-Brotons, *A new methodology for determining particle density and absorption of lightweight, normal-weight and heavy weight aggregates in aqueous medium*. Construction and Building Materials, 2017. **146**: p. 630-643.
82. AENOR, A.E.d.N.-. *Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua*. 2001.





- 83.AENOR, A.E.d.N.-. *Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado*. 2012.
- 84.Solak, A.M., A.J. Tenza-Abril, and F. Baeza-Brotons, *Image analysis applications for the study of segregation in lightweight concretes*. International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements, 2017.
- 85.Tenza-Abril, A.J., et al., *Numerical model for describing the segregation phenomenon in lightweight concrete using density sections*. International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements, 2017.
- 86.Solak, A.M., et al., *El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Índice de Segregación y estudio ultrasónico*. Hormigón y acero, 2017. **68**.
- 87.Evans, J.D., *Straightforward statistics for the behavioral sciences*. 1996.
- 88.AENOR, A.E.d.N.-. *Ensayo para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas*. 1996.

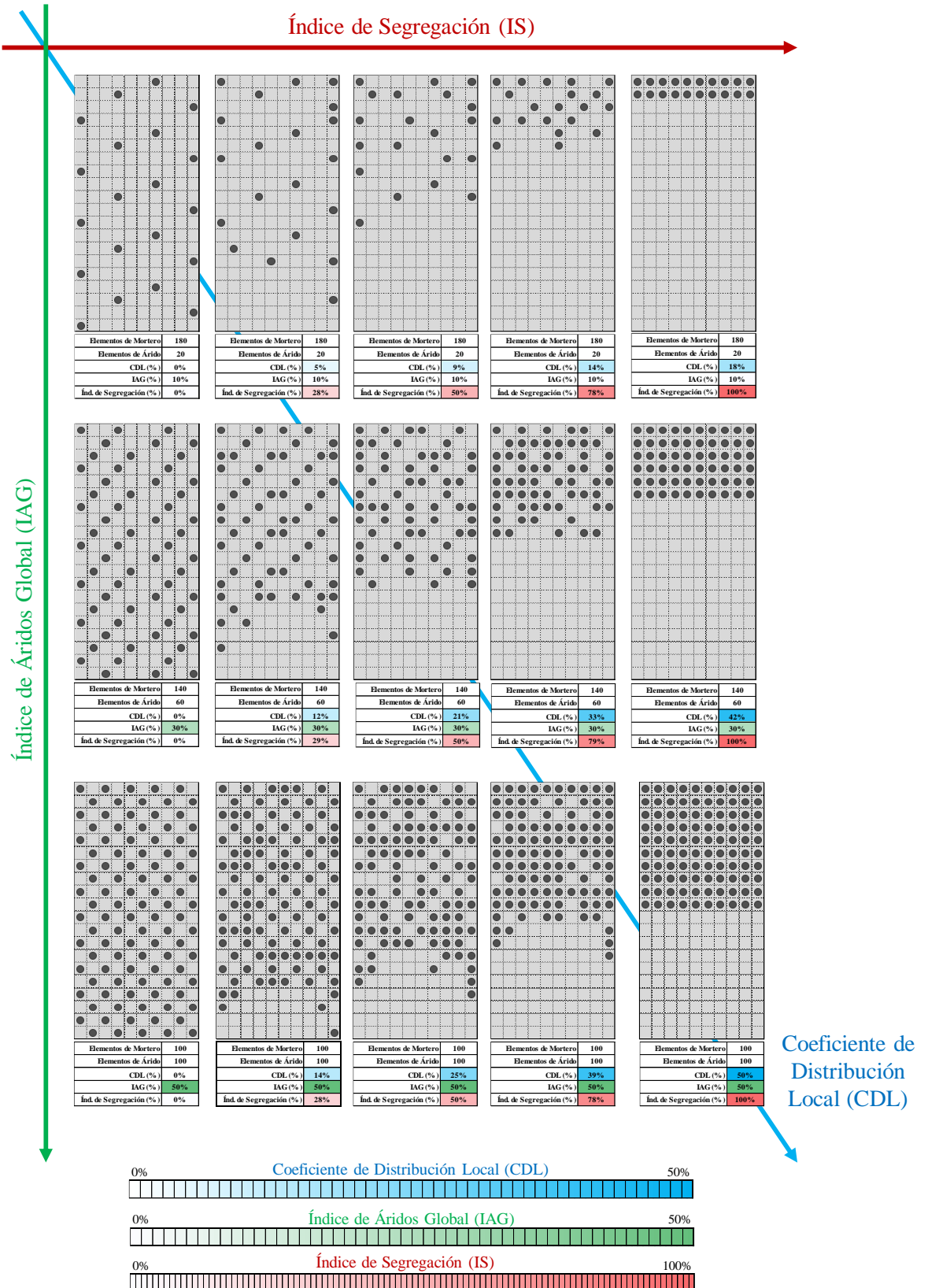


## **ANEXO A: PROBETAS SINTÉTICAS**

# ANEXO A



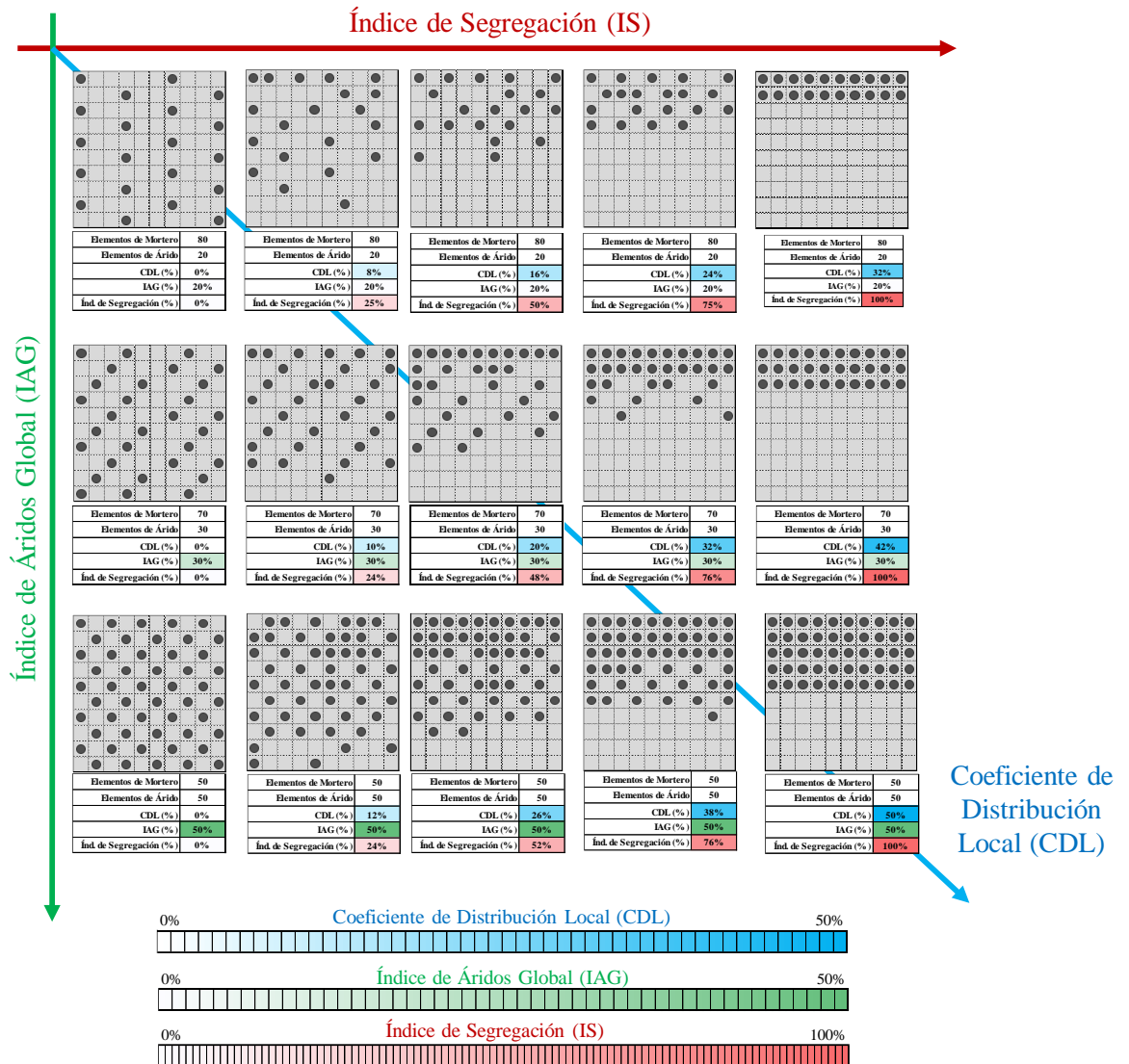
Probetas sintéticas rectangulares, 200 elementos, 10 de achura por 20 altura.



# ANEXO A

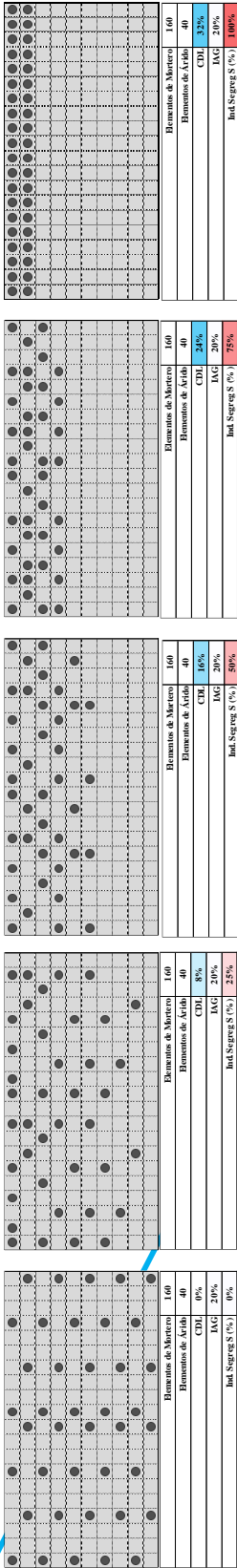


Probetas sintéticas cuadradas, 100 elementos, 10 de achura por 10 altura.

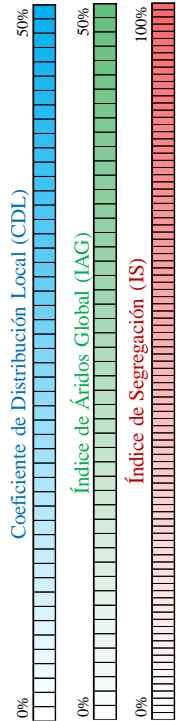
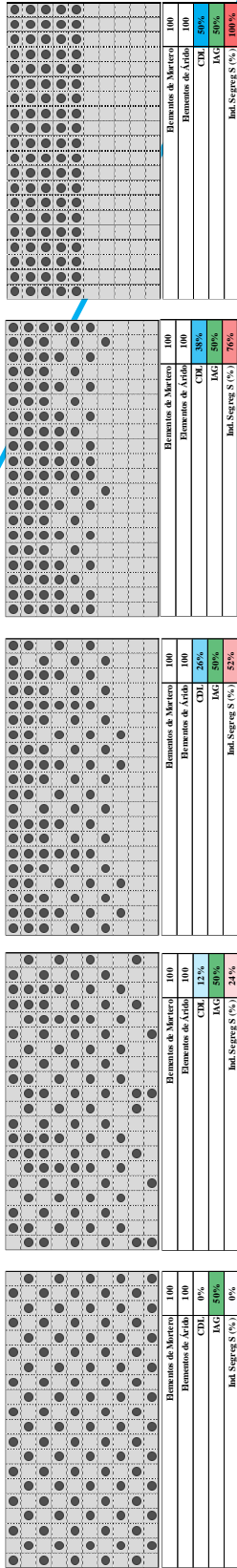
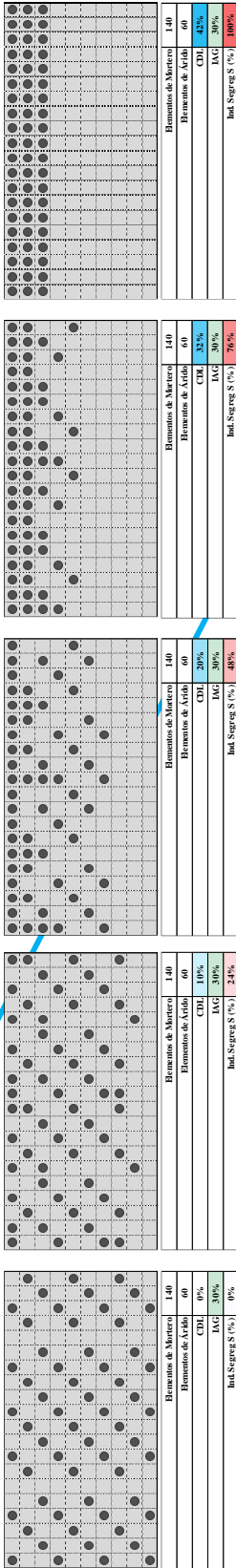


Probetas sintéticas rectangulares, 200 elementos, 20 de achura por 10 altura.

Índice de Segregación (IS)



Índice de Áridos Global (IAG)



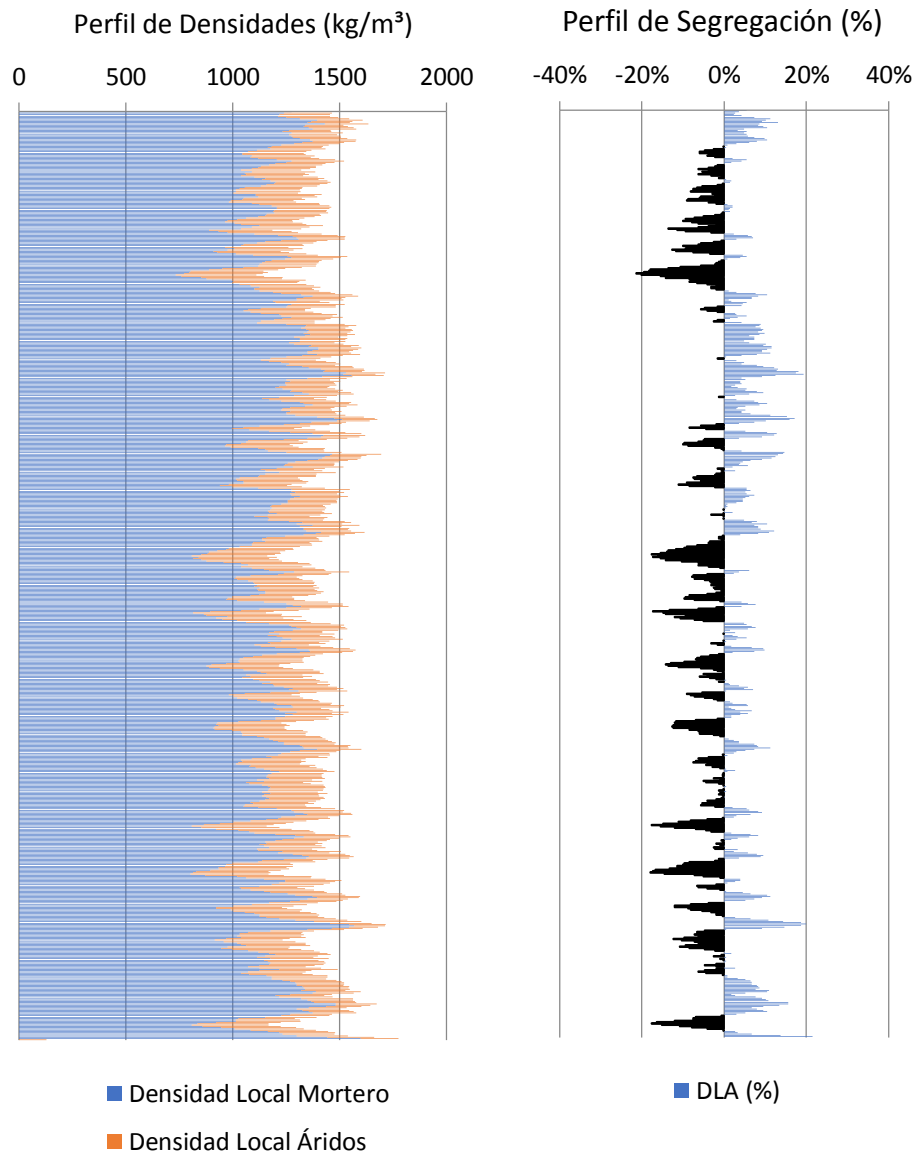
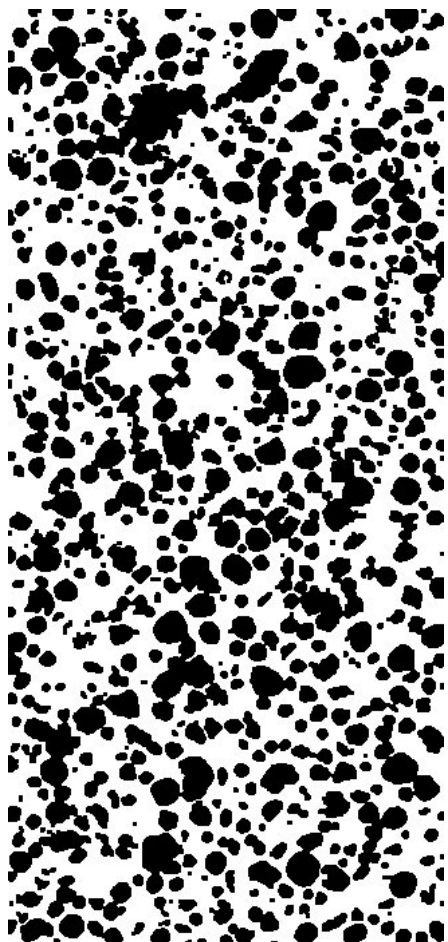
Coefficiente de Distribución Local (CDL)





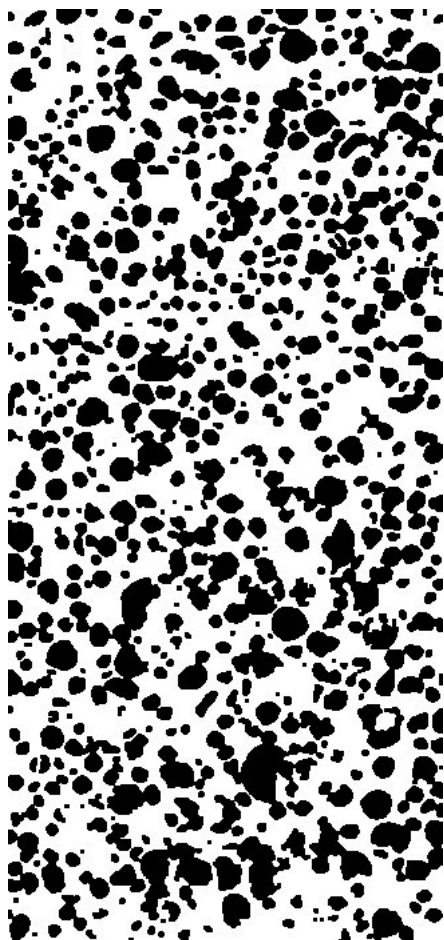
## **ANEXO B: FICHAS DE SEGREGACIÓN**

MUESTRA	
HL1700V0C15A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	42%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	31178
Total de Ptos (2/3) =	33035
Total de Ptos (3/3) =	32301
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	24474
Total de Ptos (2/4) =	22640
Total de Ptos (3/4) =	25142
Total de Ptos (4/4) =	24172
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1423.511
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1414.399
D(2/4) =	1459.931
D(3/4) =	1397.815
D(4/4) =	1421.897
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.994727
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	4%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	12%

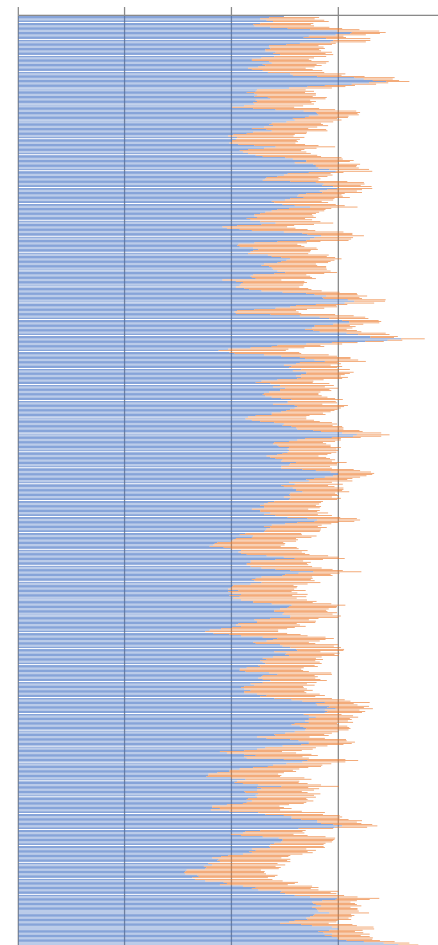


‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V0C15B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	40%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	29689
Total de Ptos (2/3) =	30360
Total de Ptos (3/3) =	30961
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	22213
Total de Ptos (2/4) =	21096
Total de Ptos (3/4) =	24259
Total de Ptos (4/4) =	23340
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1457.771
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1470.532
D(2/4) =	1498.263
D(3/4) =	1419.737
D(4/4) =	1442.552
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.019396
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	4%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	14%


Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)

0 500 1000 1500 2000

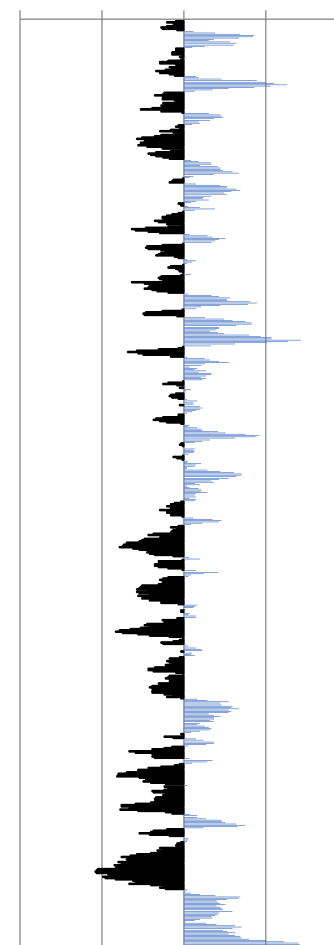


■ Densidad Local Mortero

■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)

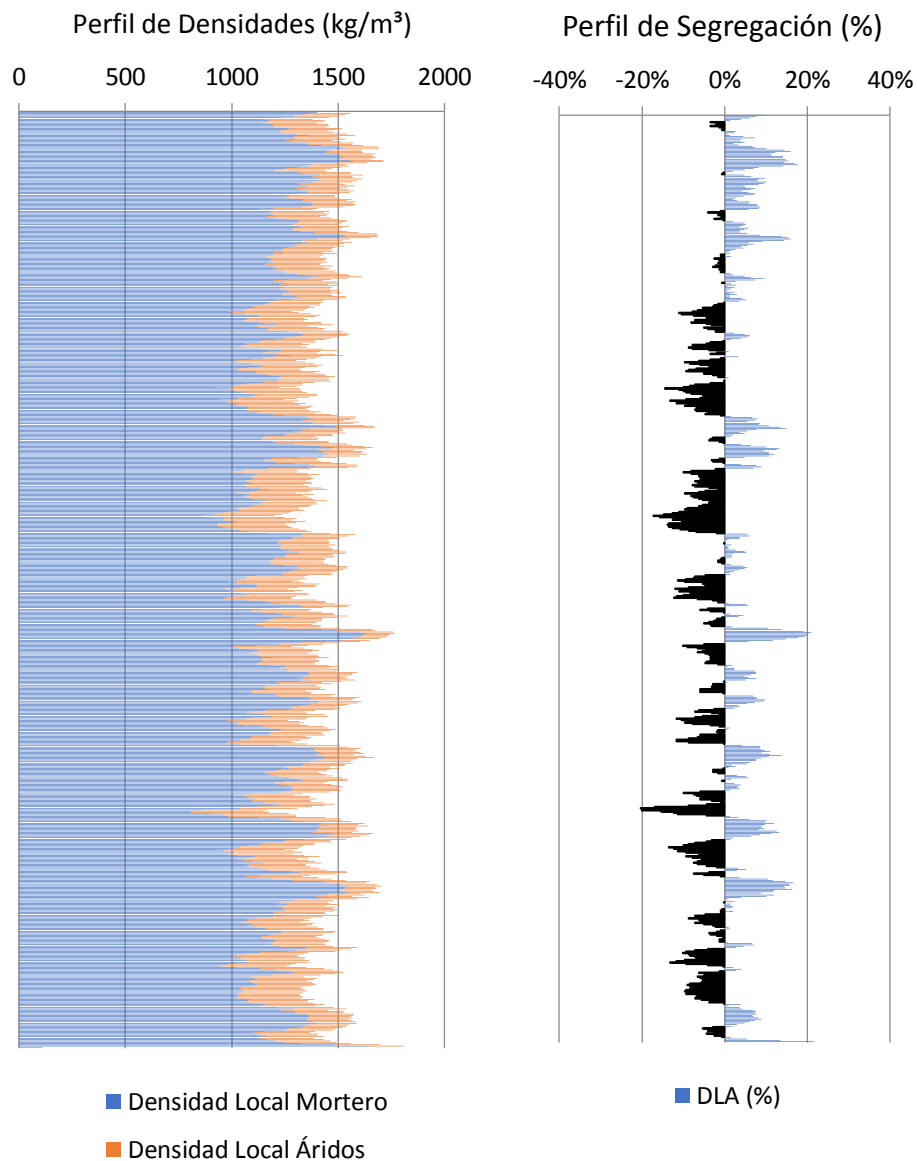
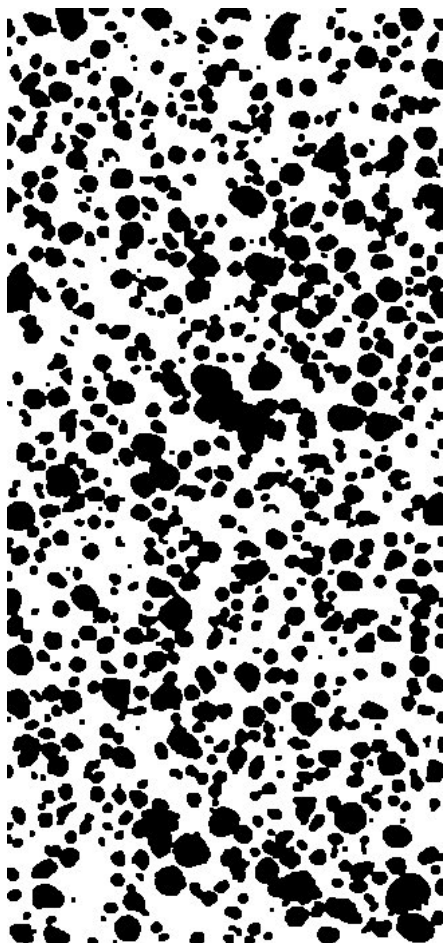
-40% -20% 0% 20% 40%



■ DLA (%)

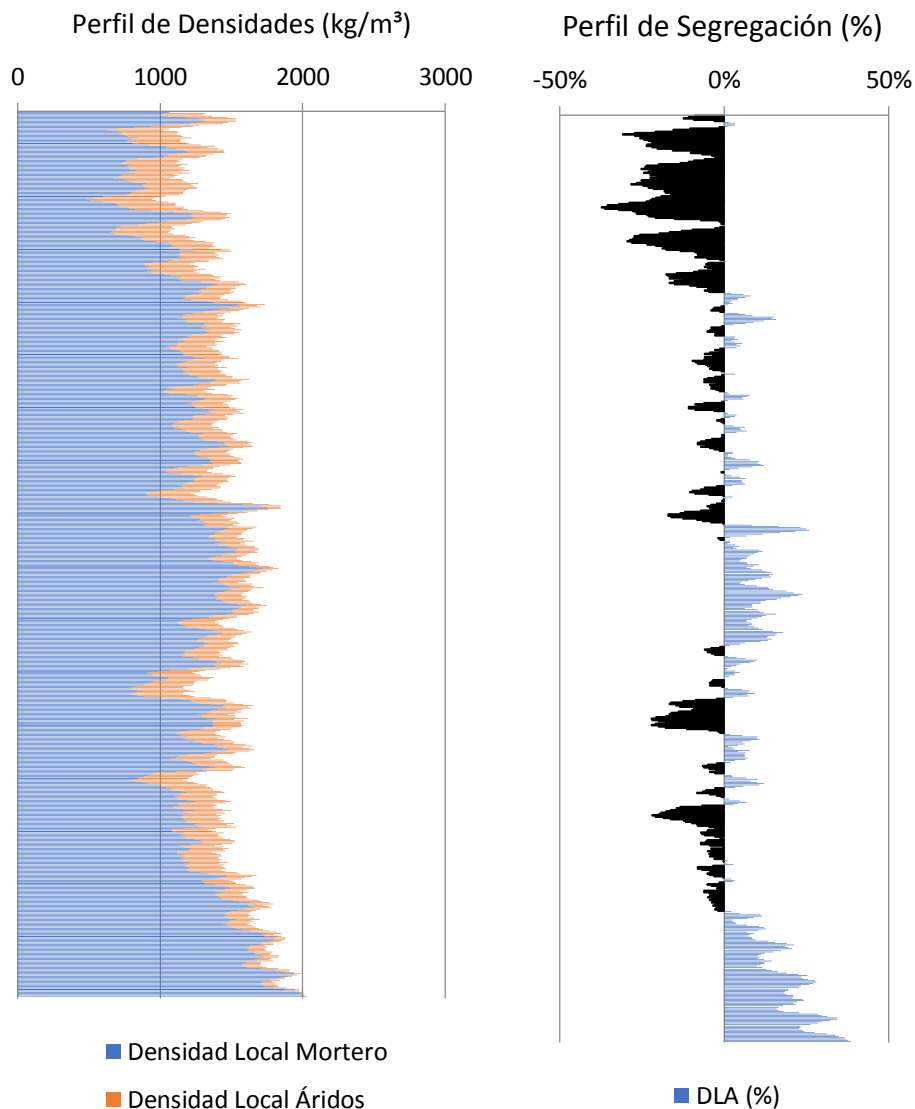
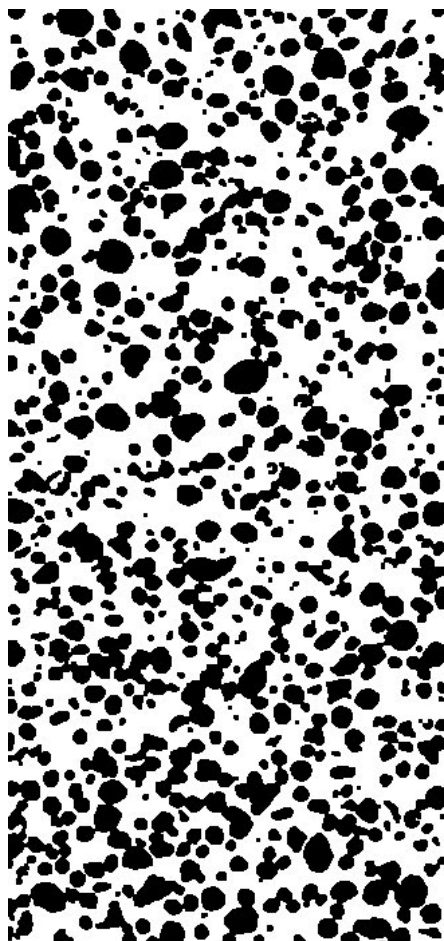
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V0C30A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<b>1.1 Distribución Global</b>	
IAG (%) =	40%
CDL (%) =	6%
<b>1.2 Distribución em 3 Zonas</b>	
Total de Ptos (1/3) =	29448
Total de Ptos (2/3) =	31108
Total de Ptos (3/3) =	30478
<b>1.3 Distribución em 4 Zonas</b>	
Total de Ptos (1/4) =	20966
Total de Ptos (2/4) =	24118
Total de Ptos (3/4) =	22959
Total de Ptos (4/4) =	22888
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<b>2.1 Mitades de Probeta</b>	
Dmp =	1457.628
<b>2.2 Cuartos de Probeta</b>	
D(1/4) =	1501.49
D(2/4) =	1423.238
D(3/4) =	1452.011
D(4/4) =	1453.774
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<b>3.1 Según Ke et al</b>	
IS (Ke) =	1.032822
<b>3.2 Según Navarrete et al</b>	
IS (Navarrete) =	3%
Concepto:	
<b>3.3 Según Solak</b>	
IS vertical (Solak) =	12%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

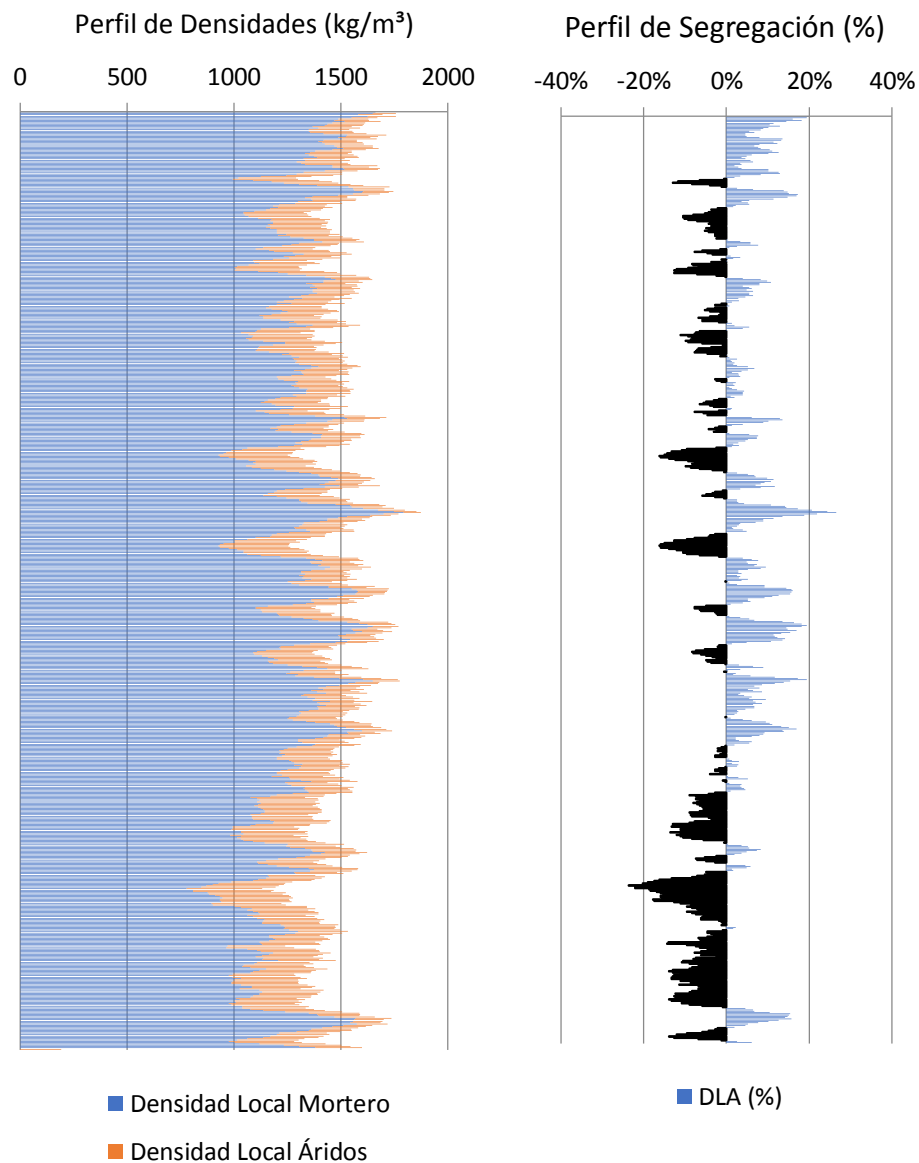
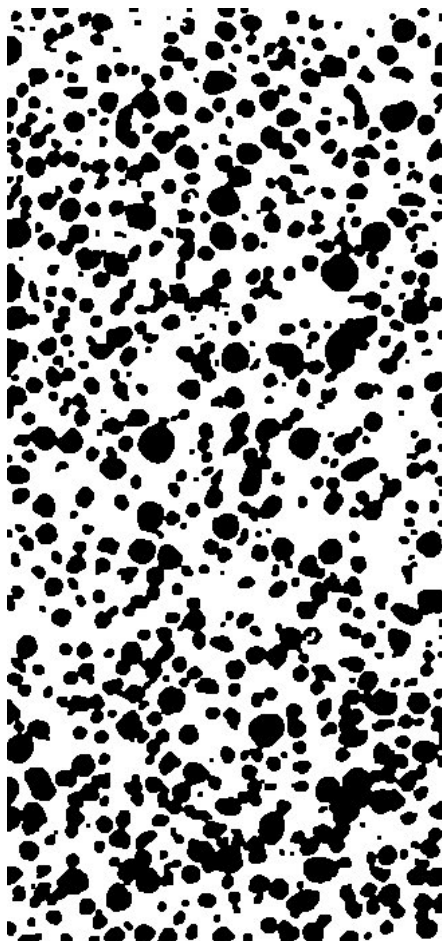
MUESTRA	
HL1700V0C30B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	39%
CDL (%) =	10%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	36278
Total de Ptos (2/3) =	27368
Total de Ptos (3/3) =	24081
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	28426
Total de Ptos (2/4) =	21380
Total de Ptos (3/4) =	20636
Total de Ptos (4/4) =	17161
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1478.284
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1316.286
D(2/4) =	1491.212
D(3/4) =	1509.683
D(4/4) =	1595.955
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.824764
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	40%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	21%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

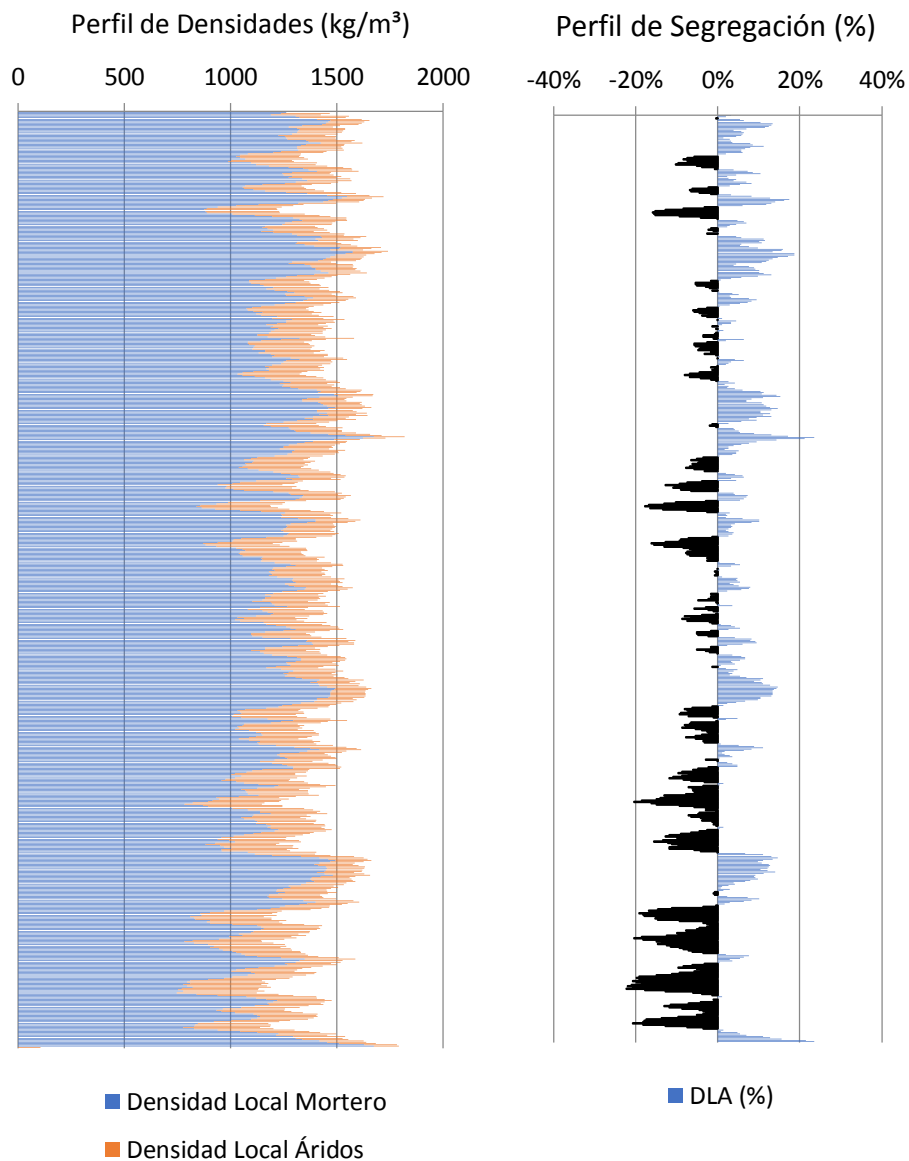
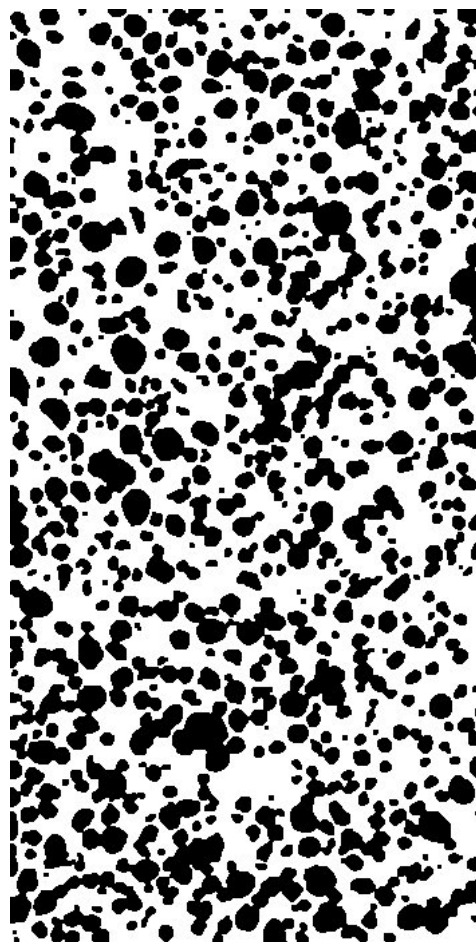


MUESTRA	
HL1700V0C60A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	38%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	27733
Total de Ptos (2/3) =	26252
Total de Ptos (3/3) =	32286
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	20609
Total de Ptos (2/4) =	21115
Total de Ptos (3/4) =	19439
Total de Ptos (4/4) =	24989
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1487.29
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1510.353
D(2/4) =	1497.791
D(3/4) =	1539.4
D(4/4) =	1401.614
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.077582
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	15%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	15%



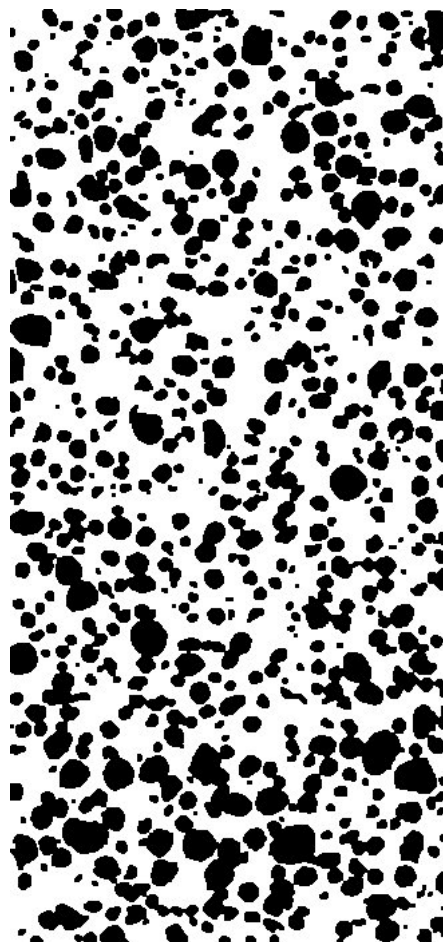
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V0C60B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	41%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	28513
Total de Ptos (2/3) =	30536
Total de Ptos (3/3) =	33979
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	21487
Total de Ptos (2/4) =	22592
Total de Ptos (3/4) =	23300
Total de Ptos (4/4) =	25512
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1445.463
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1488.556
D(2/4) =	1461.123
D(3/4) =	1443.545
D(4/4) =	1388.63
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.07196
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	17%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	14%



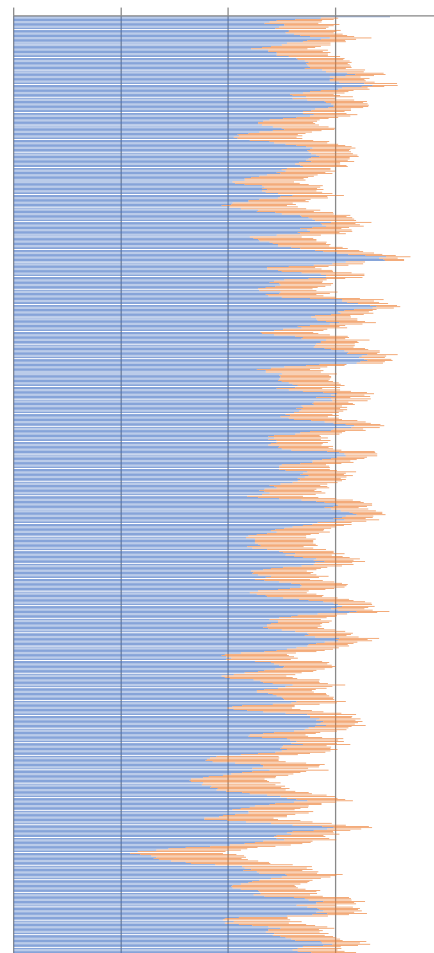
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V0C90A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	37%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	26291
Total de Ptos (2/3) =	25980
Total de Ptos (3/3) =	32492
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	20498
Total de Ptos (2/4) =	18142
Total de Ptos (3/4) =	21312
Total de Ptos (4/4) =	24688
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1496.674
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1513.109
D(2/4) =	1571.6
D(3/4) =	1492.9
D(4/4) =	1409.086
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.073823
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	21%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	15%



Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)

0 500 1000 1500 2000

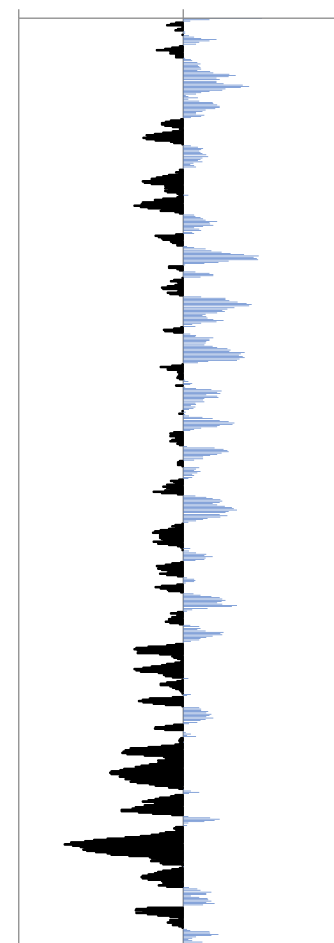


■ Densidad Local Mortero

■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)

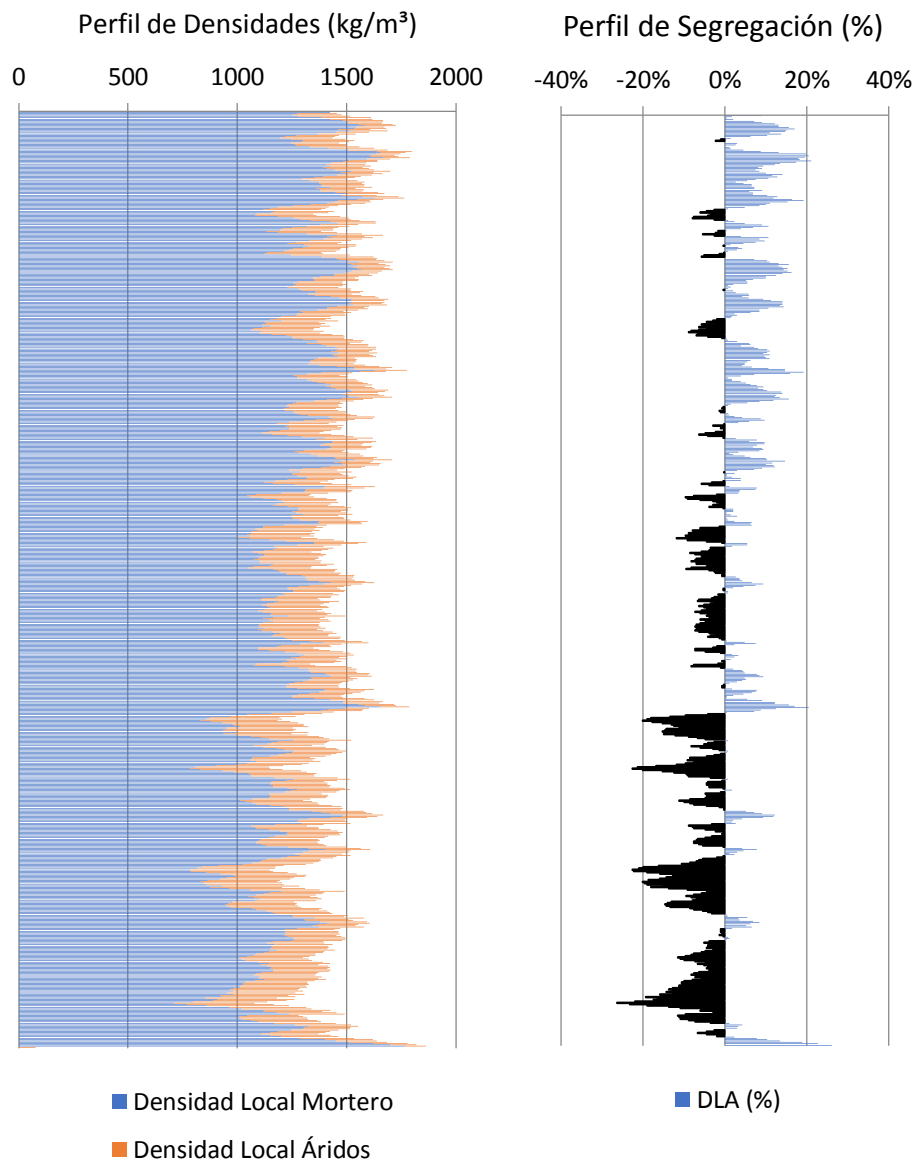
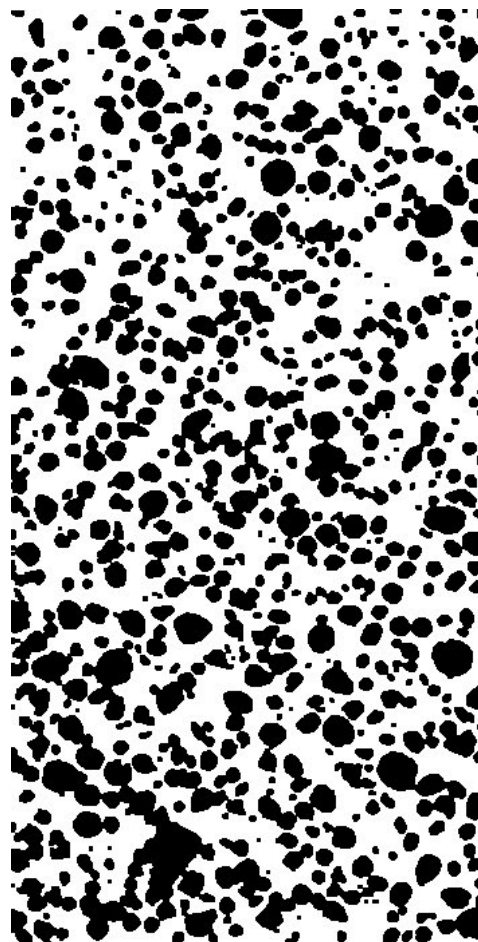
-50% 0% 50%



■ DLA (%)

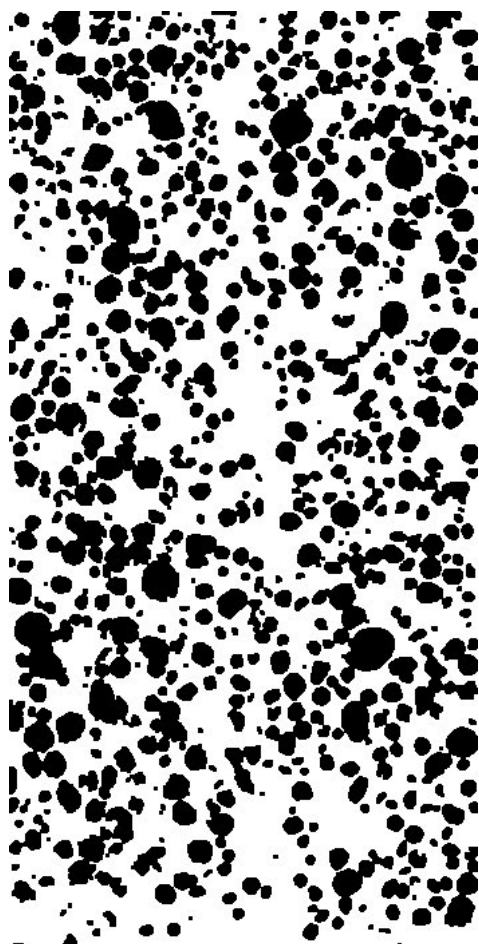
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V0C90B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	39%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	24698
Total de Ptos (2/3) =	29925
Total de Ptos (3/3) =	33465
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	18630
Total de Ptos (2/4) =	20617
Total de Ptos (3/4) =	23591
Total de Ptos (4/4) =	25115
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1476.111
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1559.485
D(2/4) =	1510.155
D(3/4) =	1436.321
D(4/4) =	1398.486
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.115124
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	30%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	15%

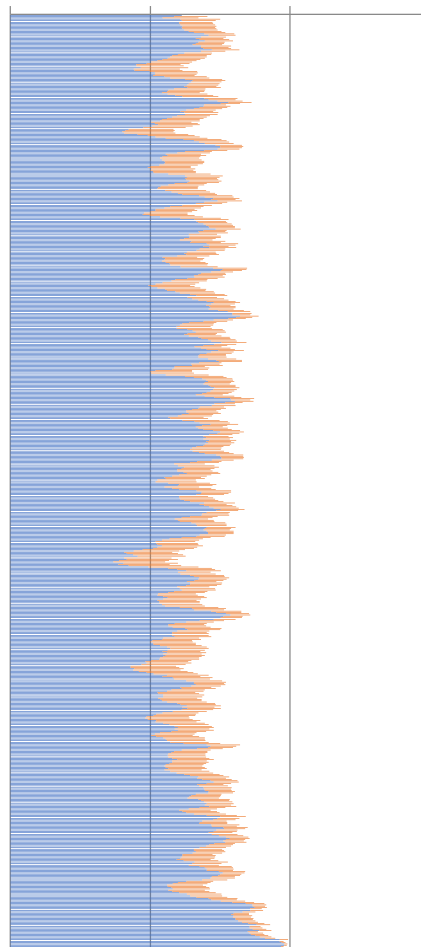


‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V10C15A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	37%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	29844
Total de Ptos (2/3) =	28323
Total de Ptos (3/3) =	26510
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	22979
Total de Ptos (2/4) =	19676
Total de Ptos (3/4) =	23994
Total de Ptos (4/4) =	17894
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1497.276
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1451.515
D(2/4) =	1533.516
D(3/4) =	1426.316
D(4/4) =	1577.757
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.919986
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	12%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	17%


Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)

0 1000 2000 3000

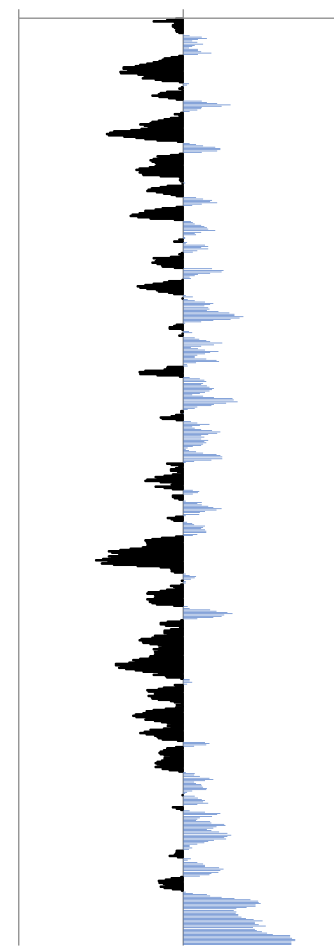


■ Densidad Local Mortero

■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)

-50% 0% 50%

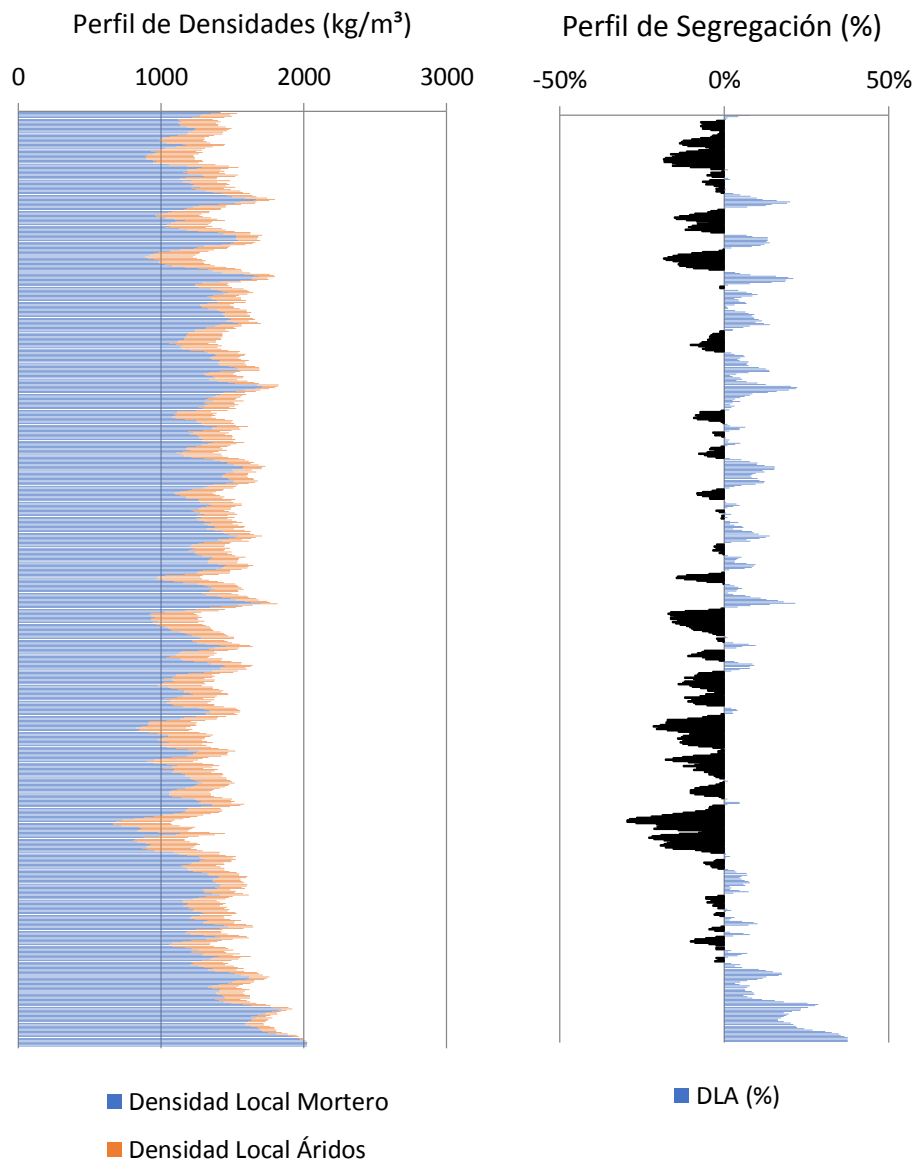
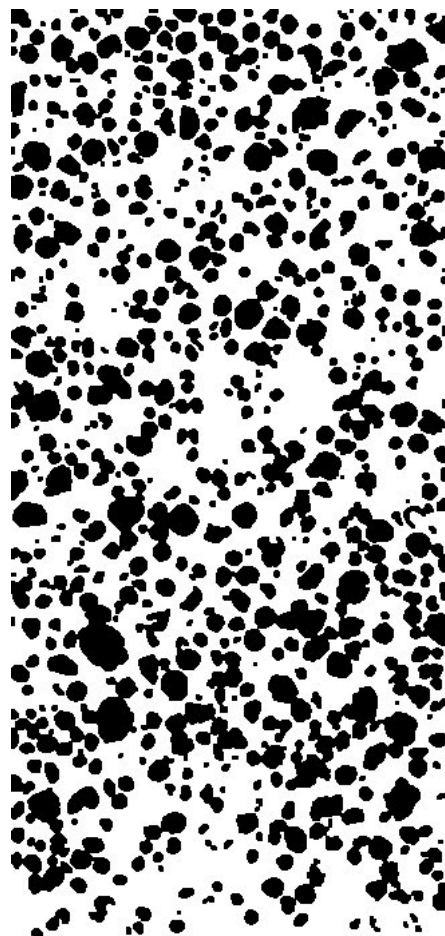


■ DLA (%)

‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

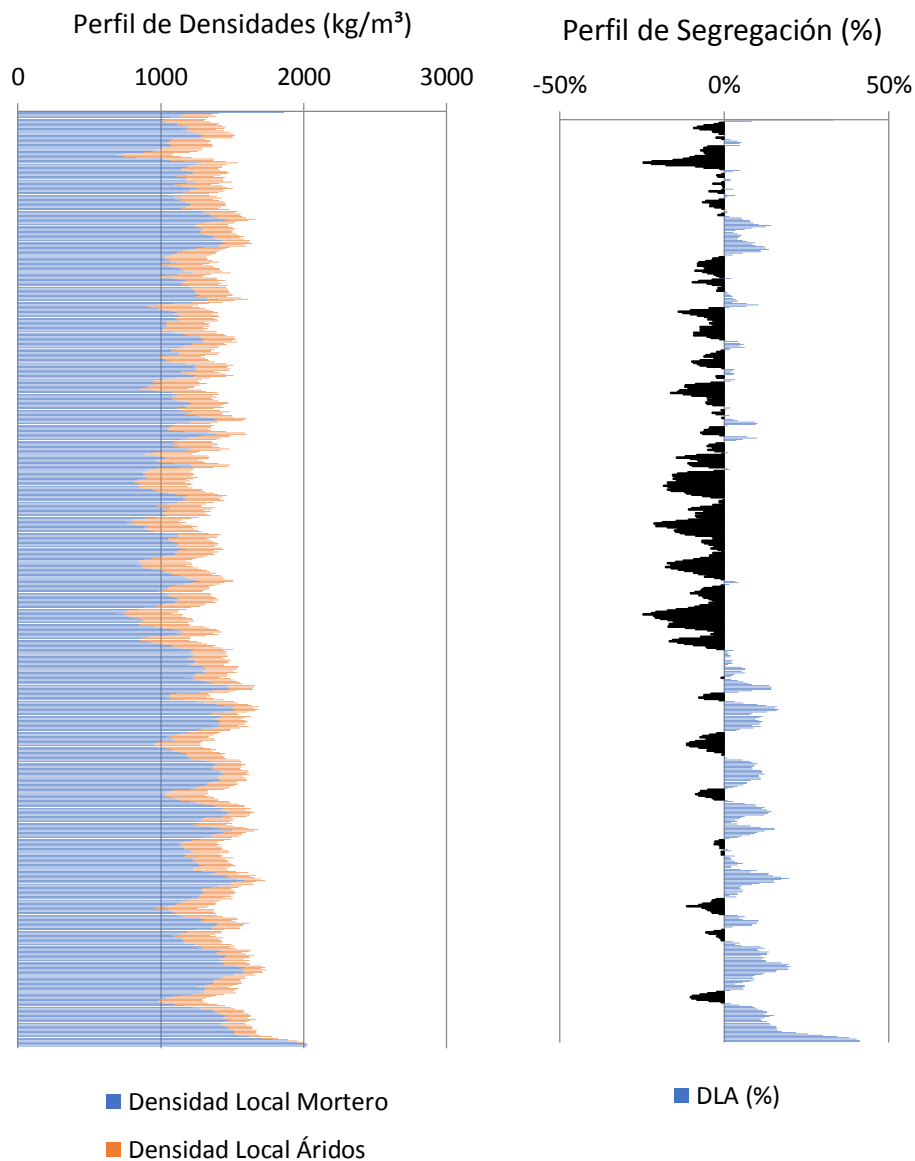
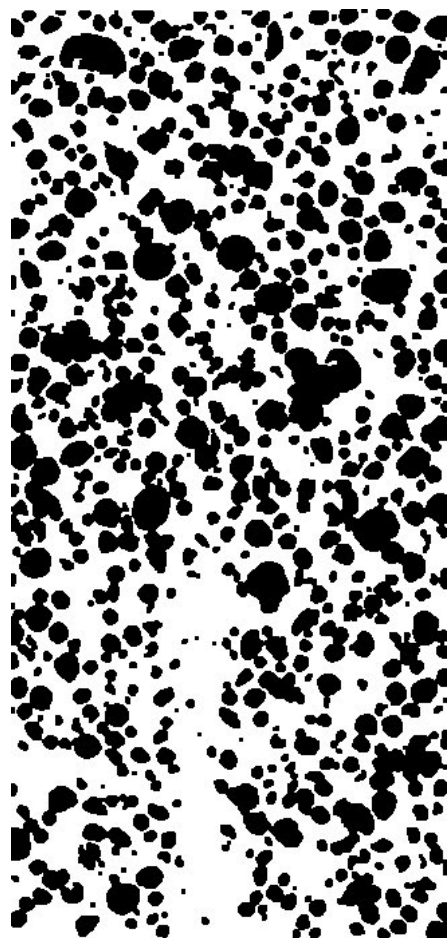


MUESTRA	
HL1700V10C15B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	38%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	28399
Total de Ptos (2/3) =	29278
Total de Ptos (3/3) =	27900
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	22035
Total de Ptos (2/4) =	19598
Total de Ptos (3/4) =	24183
Total de Ptos (4/4) =	19642
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1491.597
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1474.951
D(2/4) =	1535.453
D(3/4) =	1421.624
D(4/4) =	1534.36
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.961281
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	2%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	17%



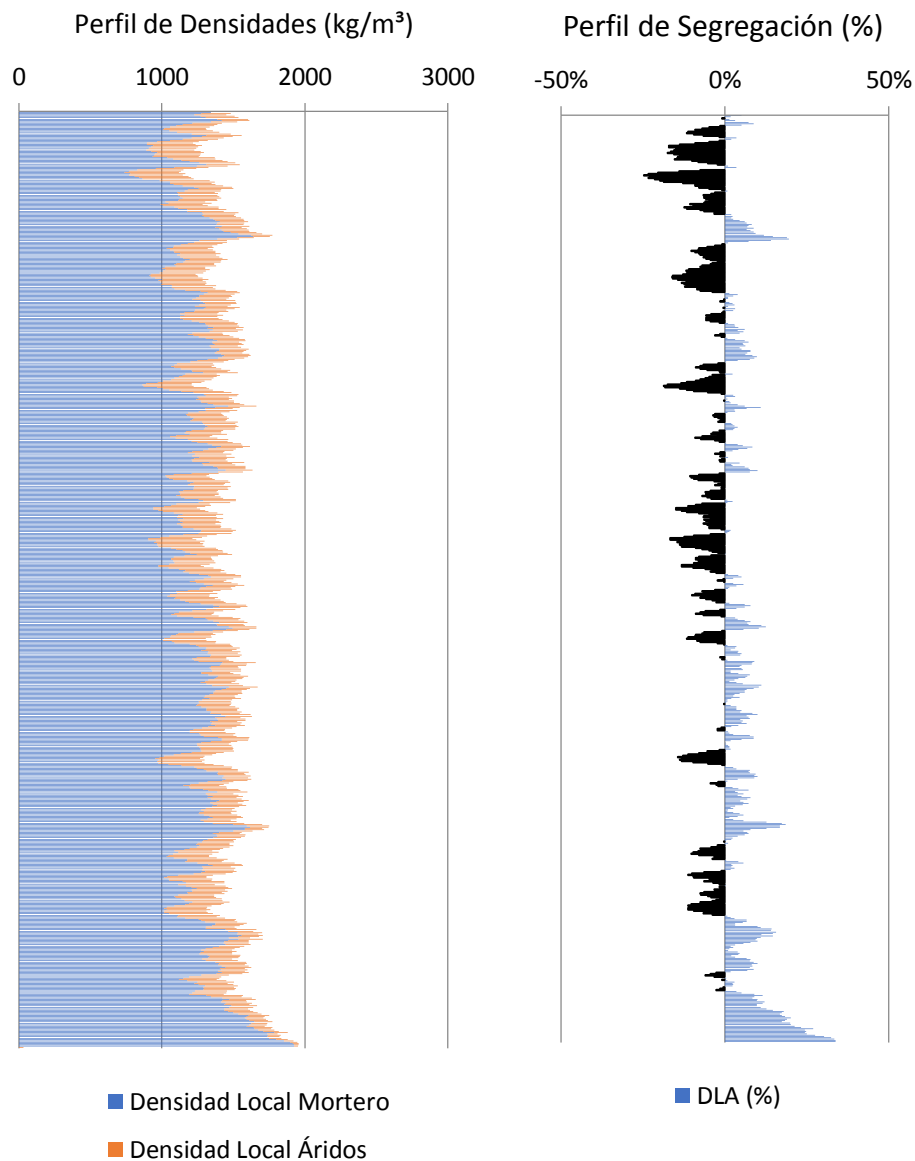
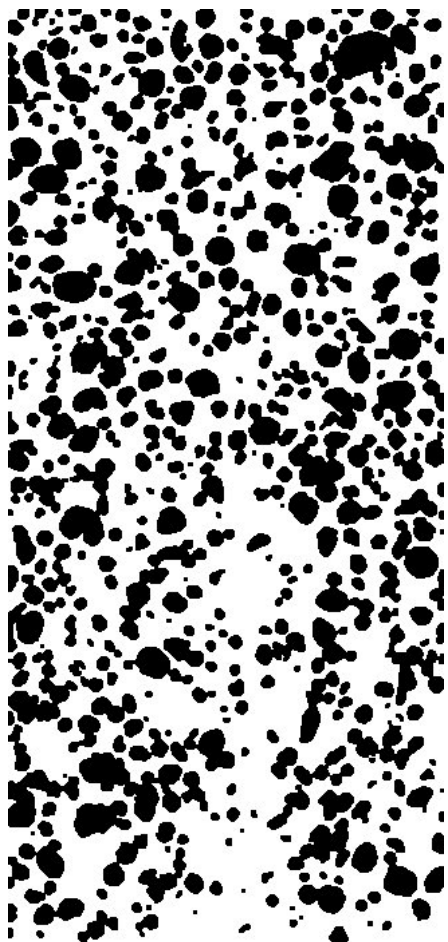
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V10C30A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	41%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	32504
Total de Ptos (2/3) =	34890
Total de Ptos (3/3) =	26677
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	23999
Total de Ptos (2/4) =	27097
Total de Ptos (3/4) =	23510
Total de Ptos (4/4) =	19317
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1439.058
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1426.192
D(2/4) =	1349.28
D(3/4) =	1438.332
D(4/4) =	1542.429
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.92464
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	20%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	15%



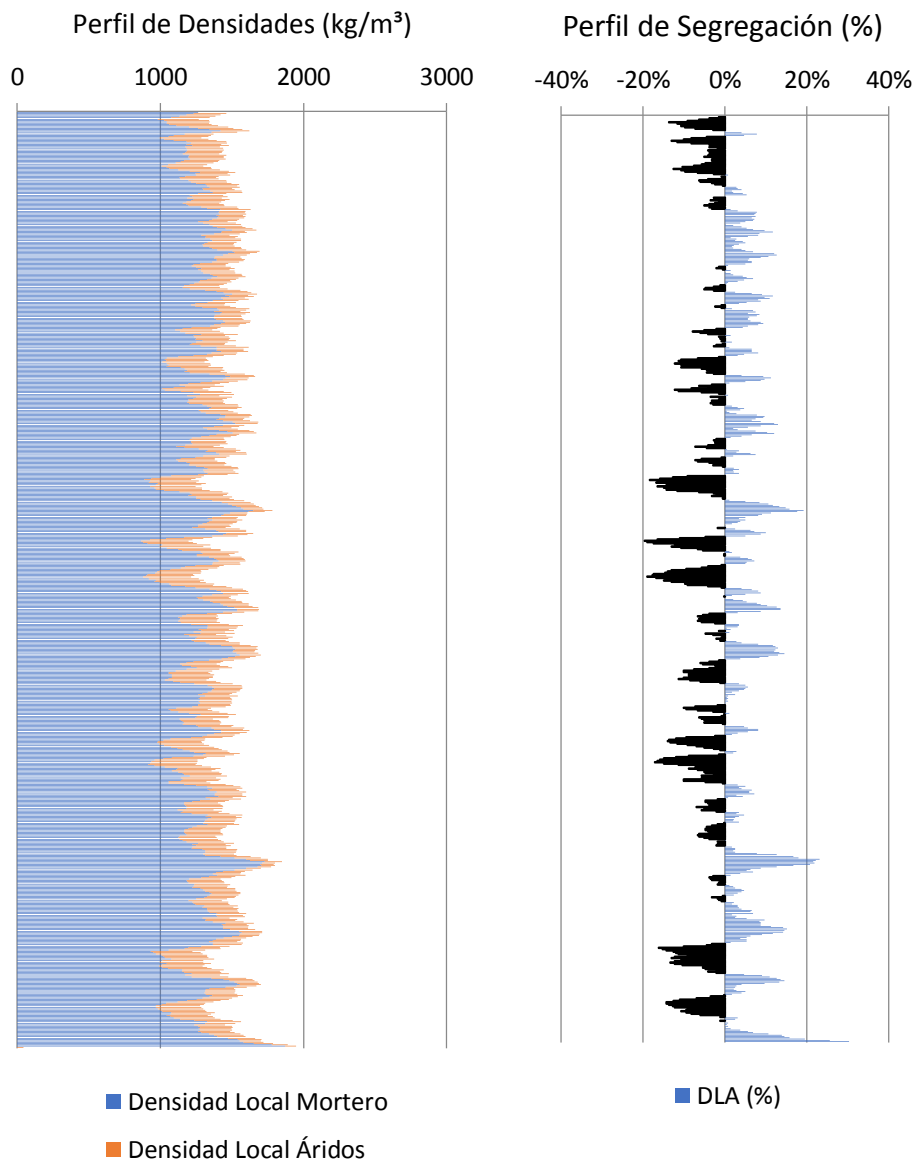
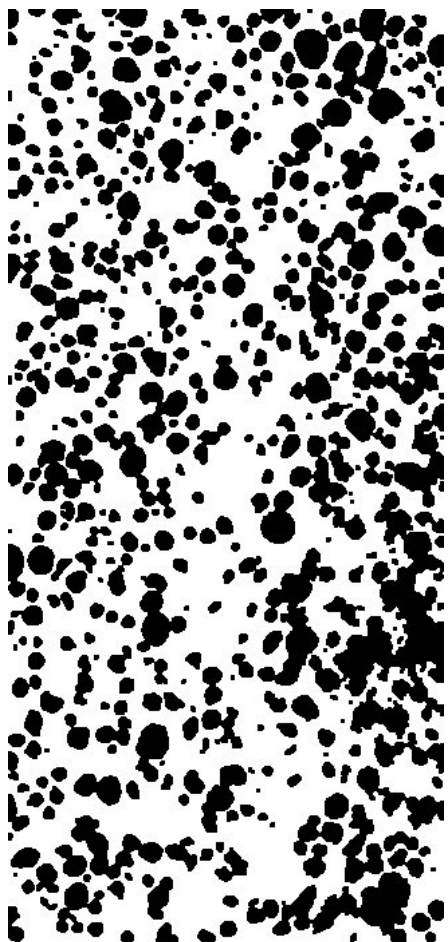
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V10C30B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	39%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	31895
Total de Ptos (2/3) =	30118
Total de Ptos (3/3) =	26018
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	24232
Total de Ptos (2/4) =	23679
Total de Ptos (3/4) =	21024
Total de Ptos (4/4) =	18978
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1476.36
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1420.407
D(2/4) =	1434.136
D(3/4) =	1500.05
D(4/4) =	1550.845
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.915892
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	20%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	14%



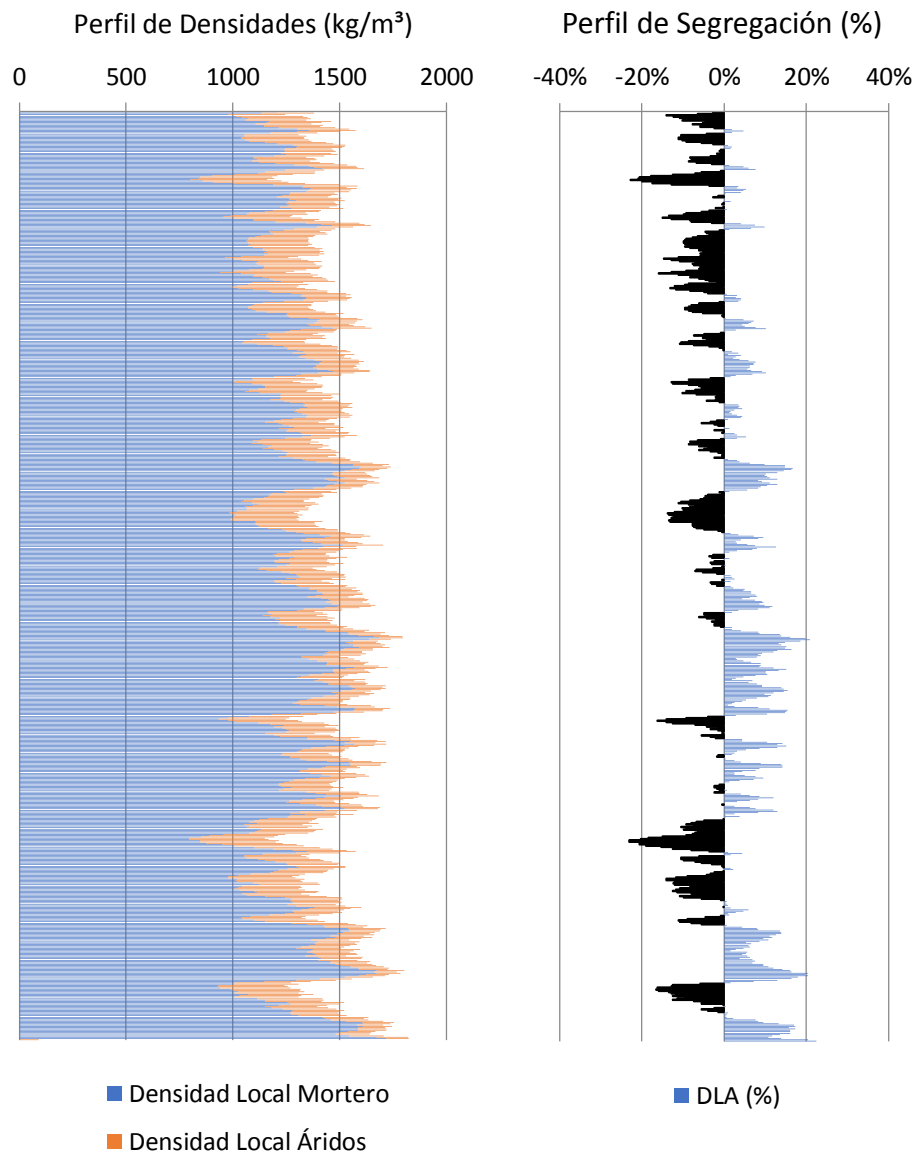
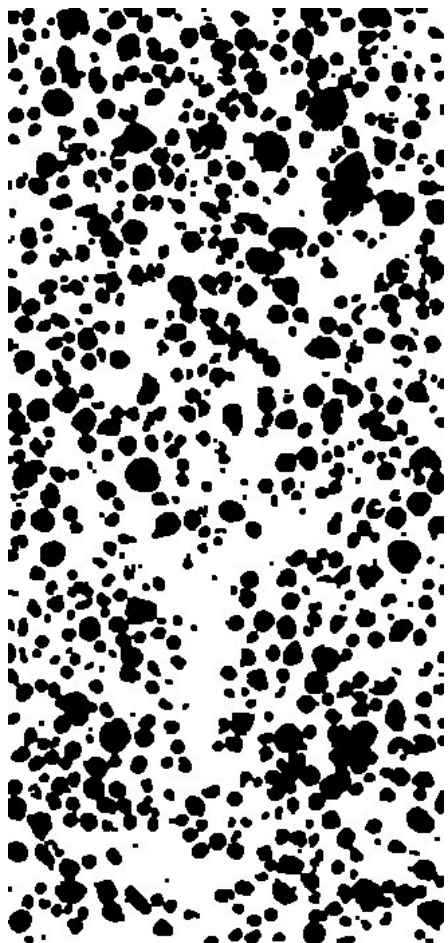
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V10C60A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	38%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	28243
Total de Ptos (2/3) =	29017
Total de Ptos (3/3) =	28437
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	21031
Total de Ptos (2/4) =	21982
Total de Ptos (3/4) =	22186
Total de Ptos (4/4) =	20418
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1490.61
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1499.877
D(2/4) =	1476.267
D(3/4) =	1471.202
D(4/4) =	1515.095
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.989955
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	1%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	13%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

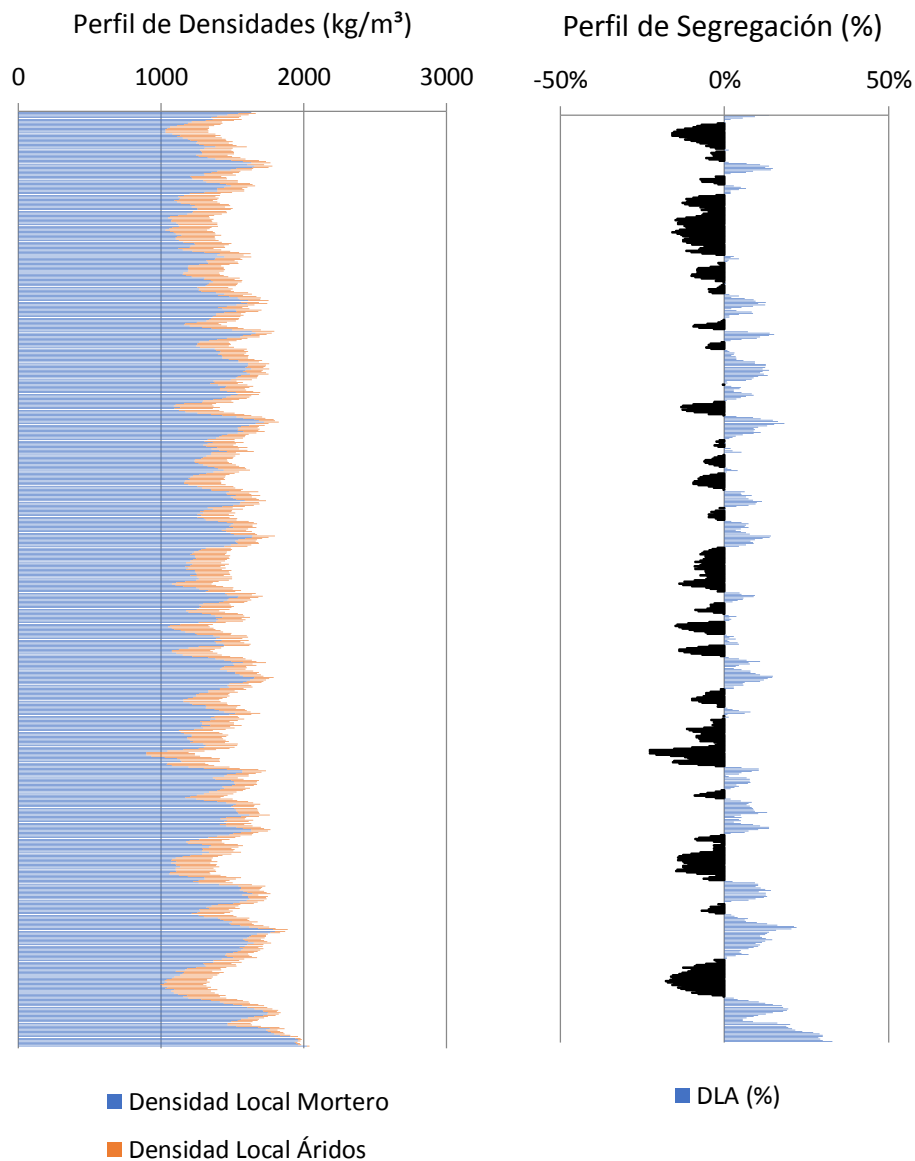
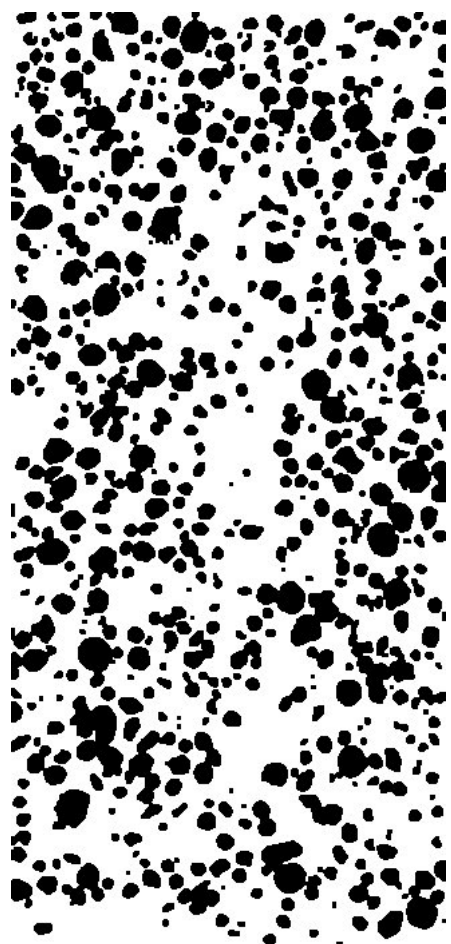
MUESTRA	
HL1700V10C60B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	38%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	31254
Total de Ptos (2/3) =	26512
Total de Ptos (3/3) =	27807
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	24053
Total de Ptos (2/4) =	21432
Total de Ptos (3/4) =	18408
Total de Ptos (4/4) =	21547
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1491.709
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1424.851
D(2/4) =	1489.921
D(3/4) =	1564.996
D(4/4) =	1487.066
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.958163
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	12%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	15%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

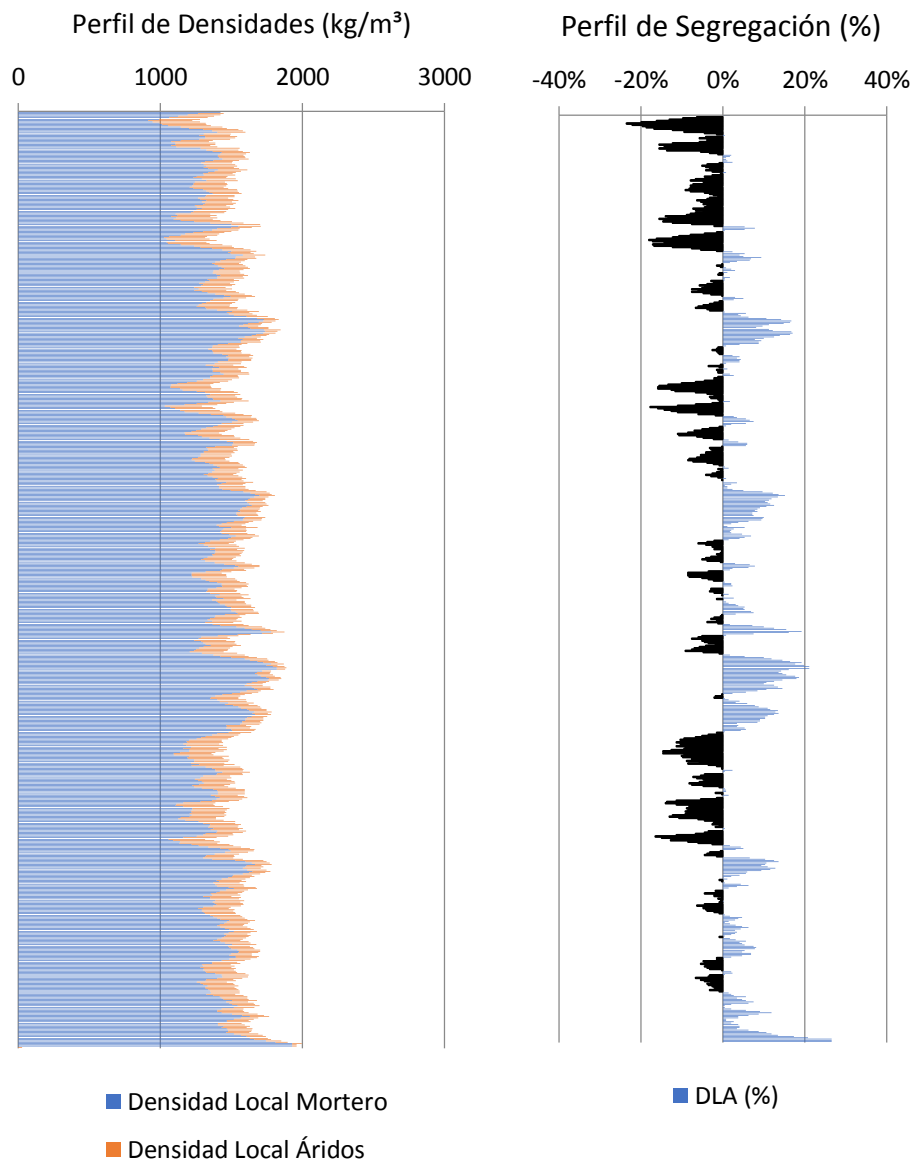
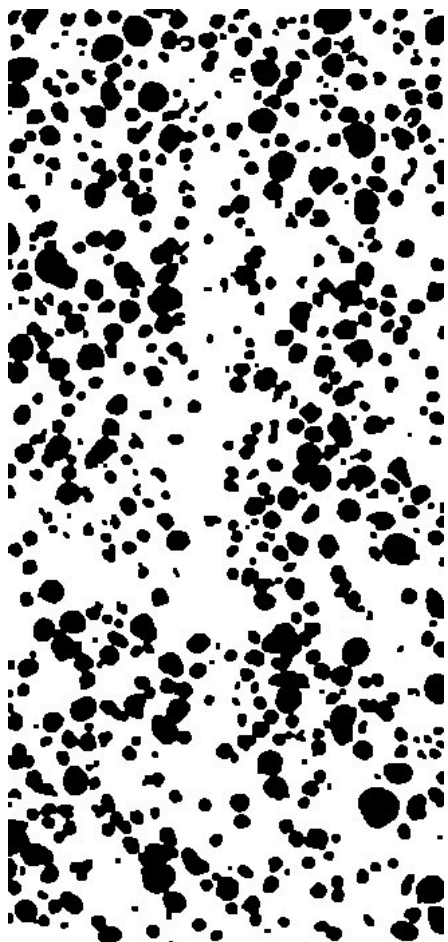


MUESTRA	
HL1700V10C90A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	33%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	26066
Total de Ptos (2/3) =	25421
Total de Ptos (3/3) =	23494
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	20509
Total de Ptos (2/4) =	17873
Total de Ptos (3/4) =	19753
Total de Ptos (4/4) =	16788
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1556.983
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1512.836
D(2/4) =	1578.278
D(3/4) =	1531.605
D(4/4) =	1605.215
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.942451
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	10%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	17%



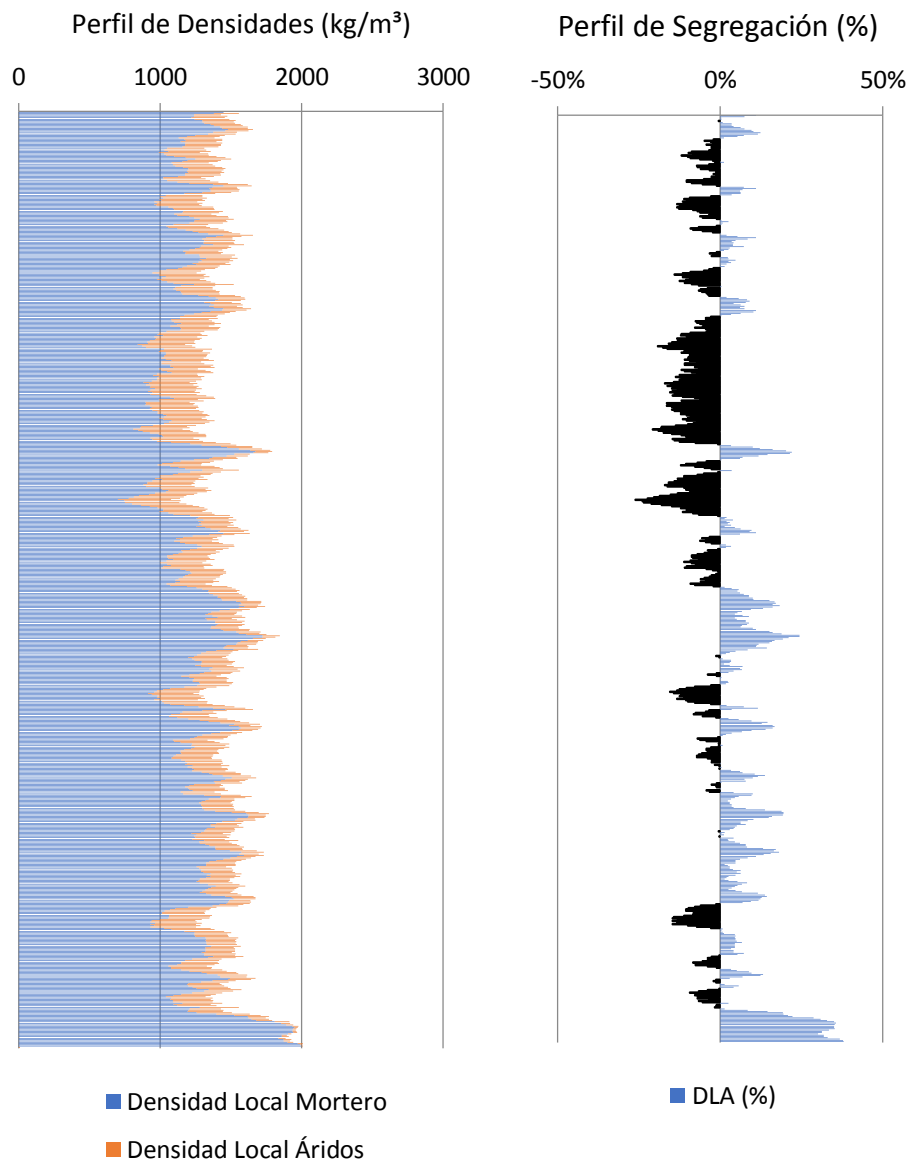
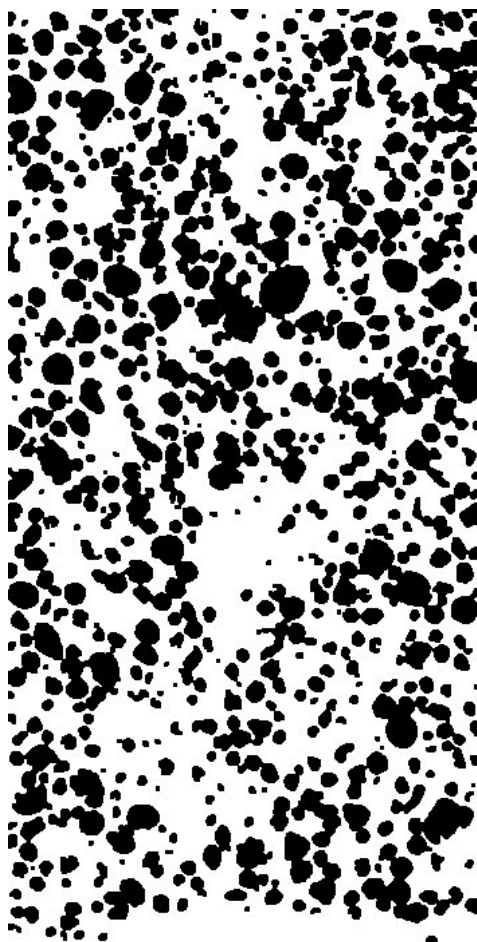
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V10C90B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	31%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	25902
Total de Ptos (2/3) =	21282
Total de Ptos (3/3) =	23968
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	19320
Total de Ptos (2/4) =	17945
Total de Ptos (3/4) =	16894
Total de Ptos (4/4) =	16898
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1580.978
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1542.354
D(2/4) =	1576.491
D(3/4) =	1602.583
D(4/4) =	1602.484
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.962477
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	8%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	14%



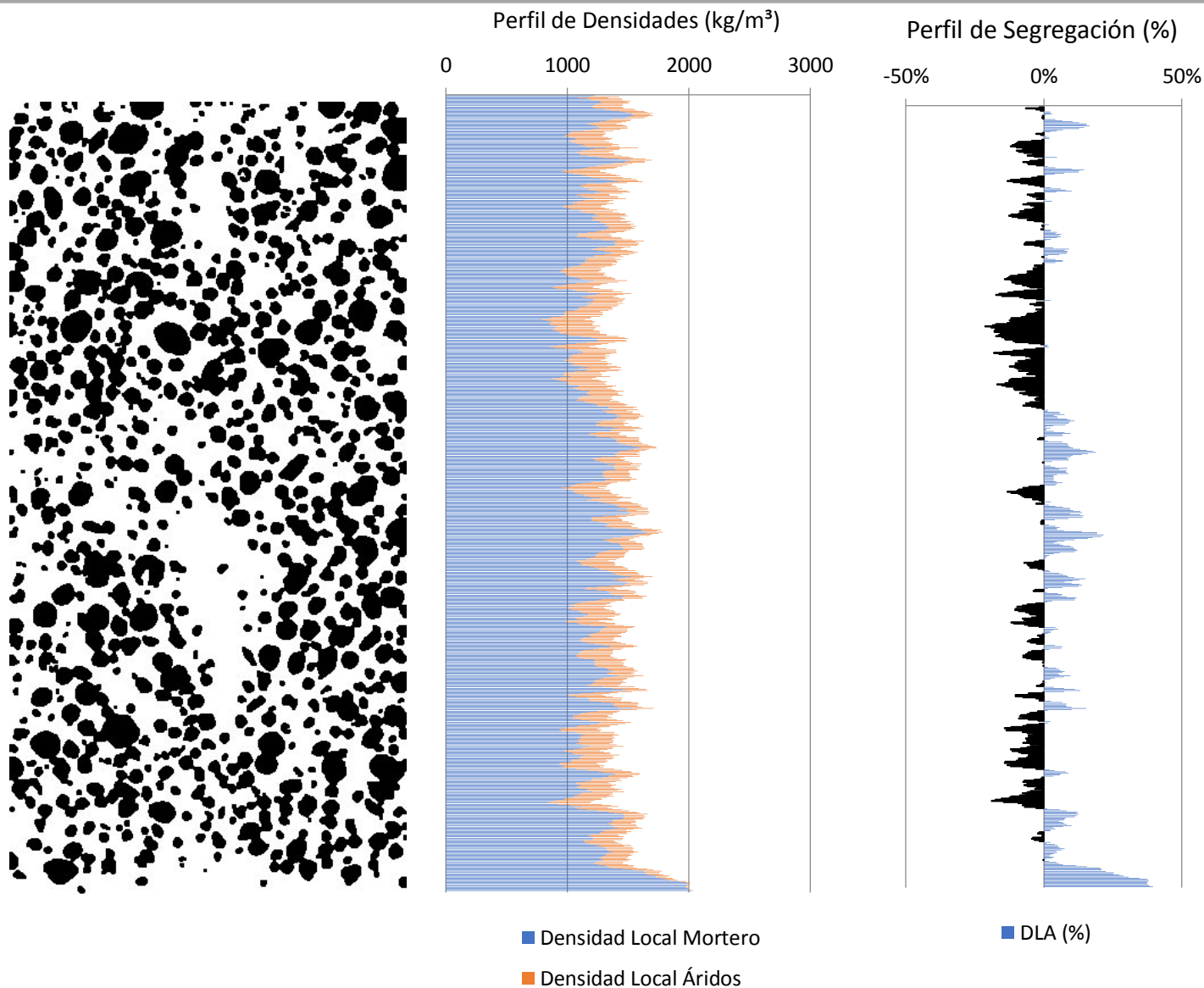
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V20C15A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	39%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	33433
Total de Ptos (2/3) =	30267
Total de Ptos (3/3) =	25821
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	23635
Total de Ptos (2/4) =	26681
Total de Ptos (3/4) =	20384
Total de Ptos (4/4) =	18661
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1467.373
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1435.229
D(2/4) =	1359.608
D(3/4) =	1515.939
D(4/4) =	1558.715
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.920777
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	26%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	17%



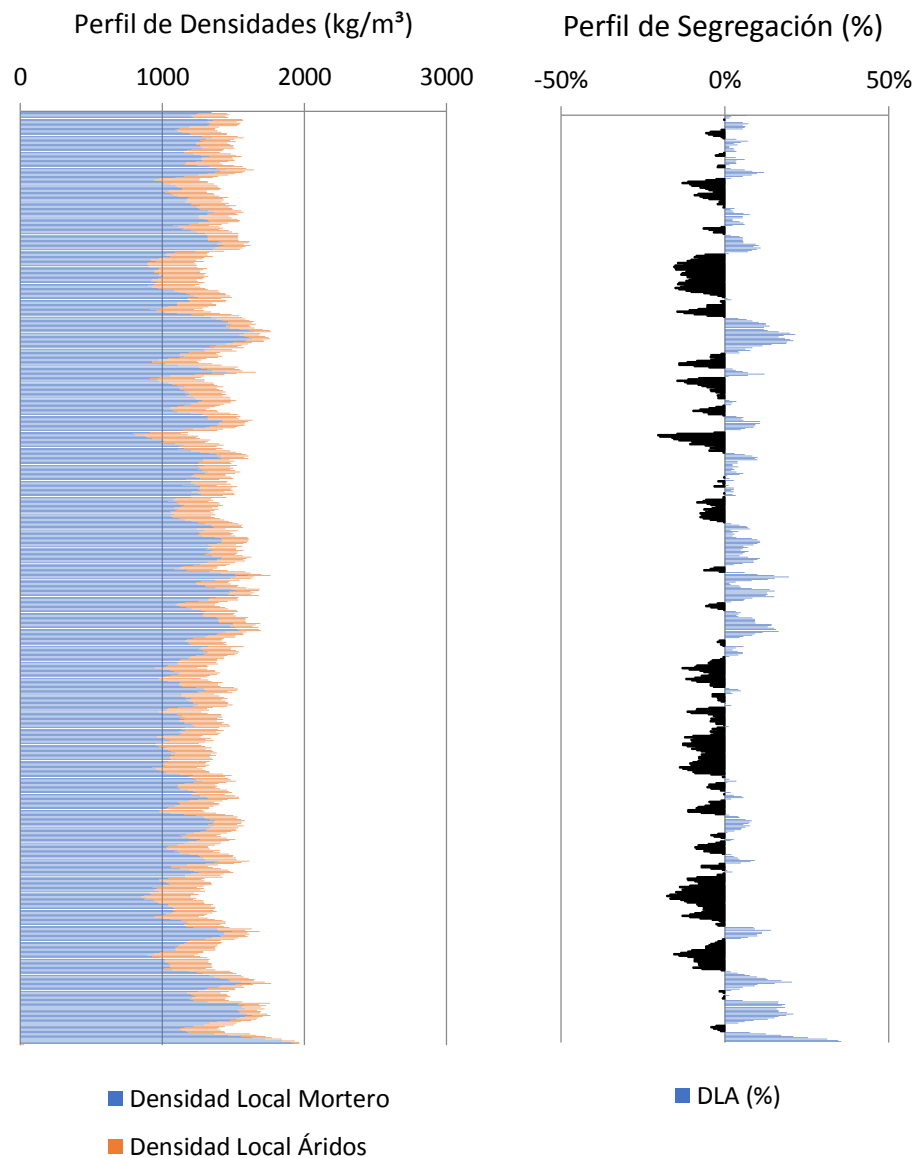
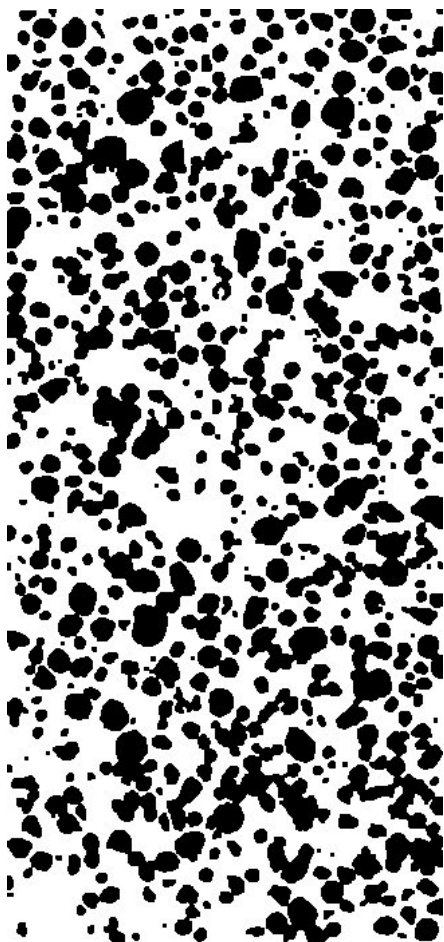
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V20C15B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	40%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	32905
Total de Ptos (2/3) =	28614
Total de Ptos (3/3) =	28836
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	23513
Total de Ptos (2/4) =	24120
Total de Ptos (3/4) =	20965
Total de Ptos (4/4) =	21588
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1462.252
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1438.257
D(2/4) =	1423.188
D(3/4) =	1501.515
D(4/4) =	1486.048
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.96784
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	13%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	15%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

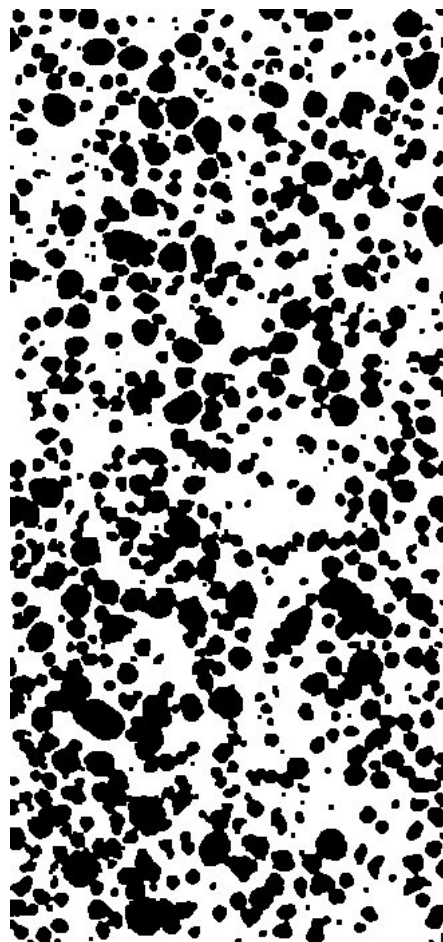
MUESTRA	
HL1700V20C30A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	40%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	30770
Total de Ptos (2/3) =	29714
Total de Ptos (3/3) =	31120
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	22793
Total de Ptos (2/4) =	22701
Total de Ptos (3/4) =	23547
Total de Ptos (4/4) =	22463
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1454.072
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1456.132
D(2/4) =	1458.416
D(3/4) =	1437.413
D(4/4) =	1464.325
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.994405
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	1%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	14%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.



MUESTRA	
HL1700V20C30B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	41%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	29209
Total de Ptos (2/3) =	32330
Total de Ptos (3/3) =	32680
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	21825
Total de Ptos (2/4) =	21792
Total de Ptos (3/4) =	26428
Total de Ptos (4/4) =	24020
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1438.177
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1480.164
D(2/4) =	1480.984
D(3/4) =	1365.889
D(4/4) =	1425.671
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.038223
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	11%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	14%


Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)

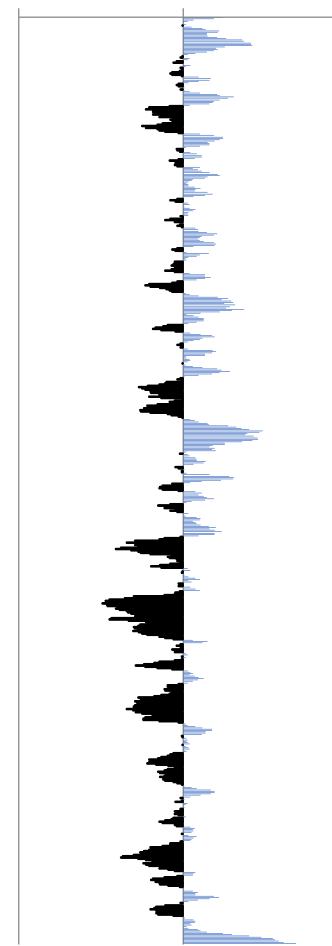
0 1000 2000 3000



■ Densidad Local Mortero  
■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)

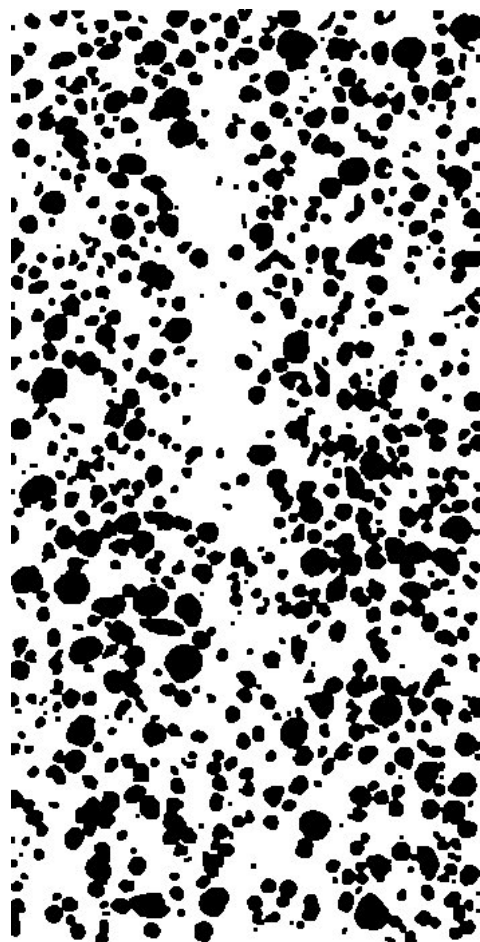
-50% 0% 50%



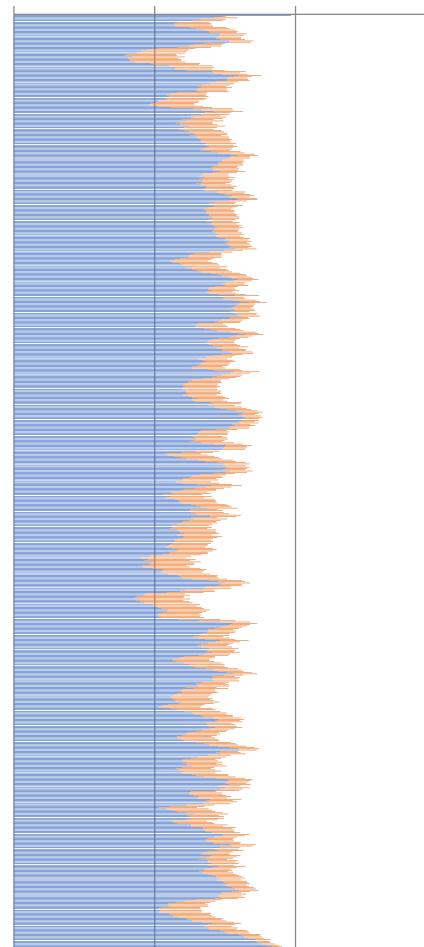
■ DLA (%)

‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V20C60A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	35%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	25367
Total de Ptos (2/3) =	27894
Total de Ptos (3/3) =	25428
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	19709
Total de Ptos (2/4) =	17456
Total de Ptos (3/4) =	22914
Total de Ptos (4/4) =	18493
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1534.336
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1532.697
D(2/4) =	1588.631
D(3/4) =	1453.128
D(4/4) =	1562.886
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.980684
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	0%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	16%


Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)

0 1000 2000 3000

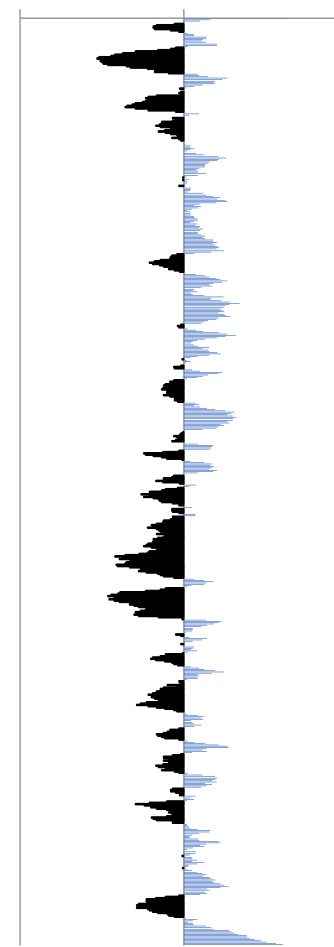


■ Densidad Local Mortero

■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)

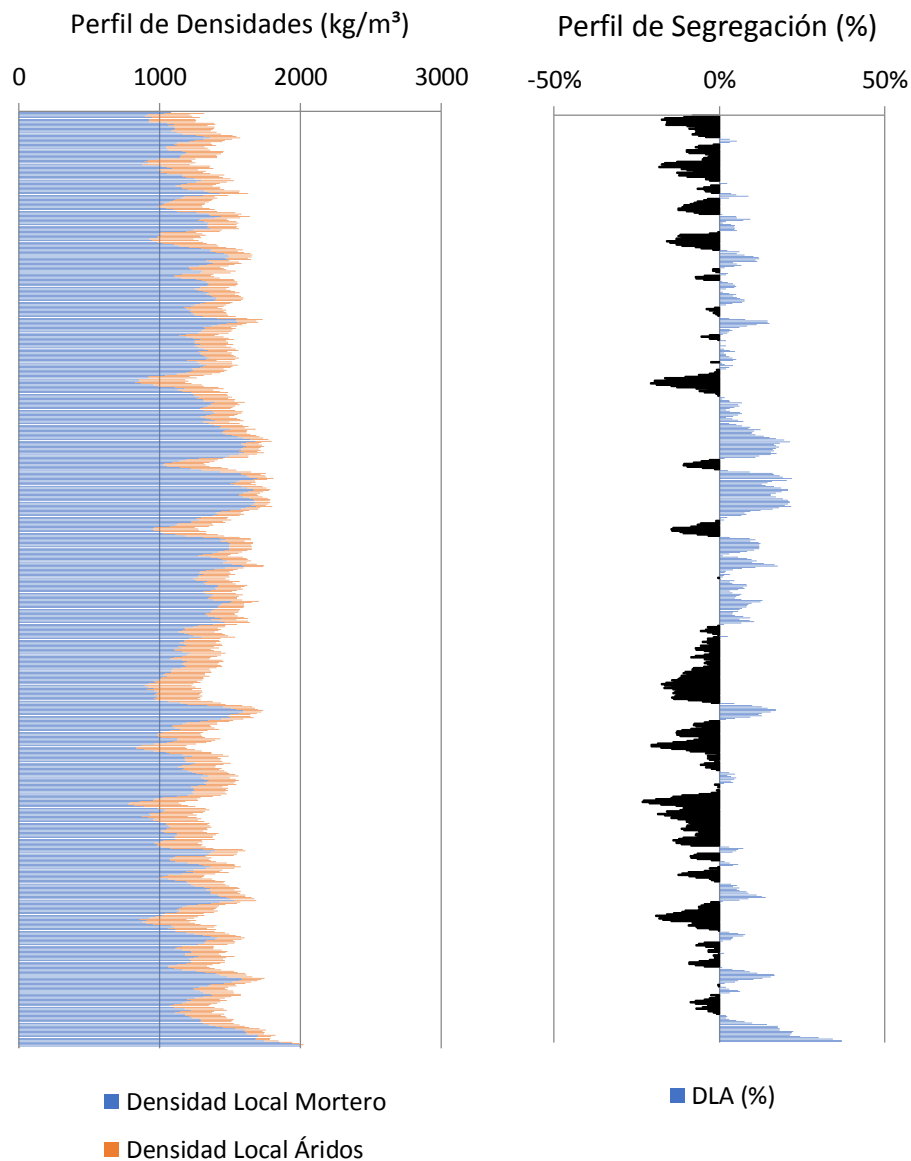
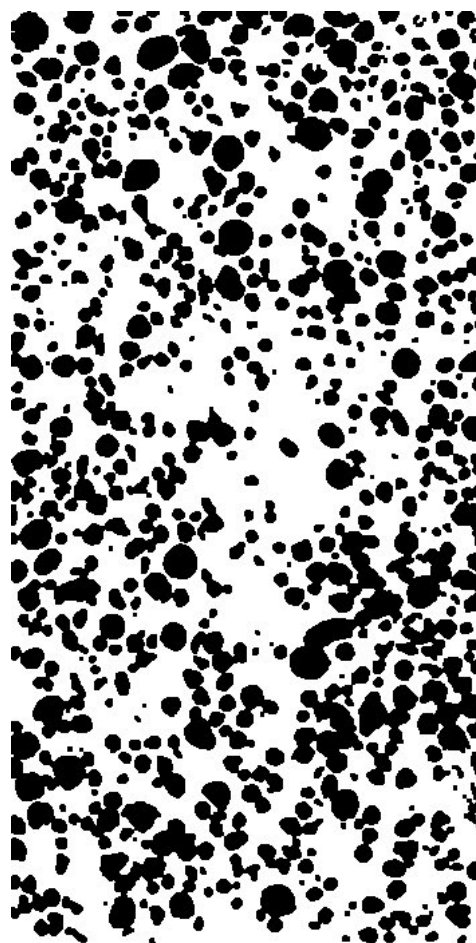
-50% 0% 50%



■ DLA (%)

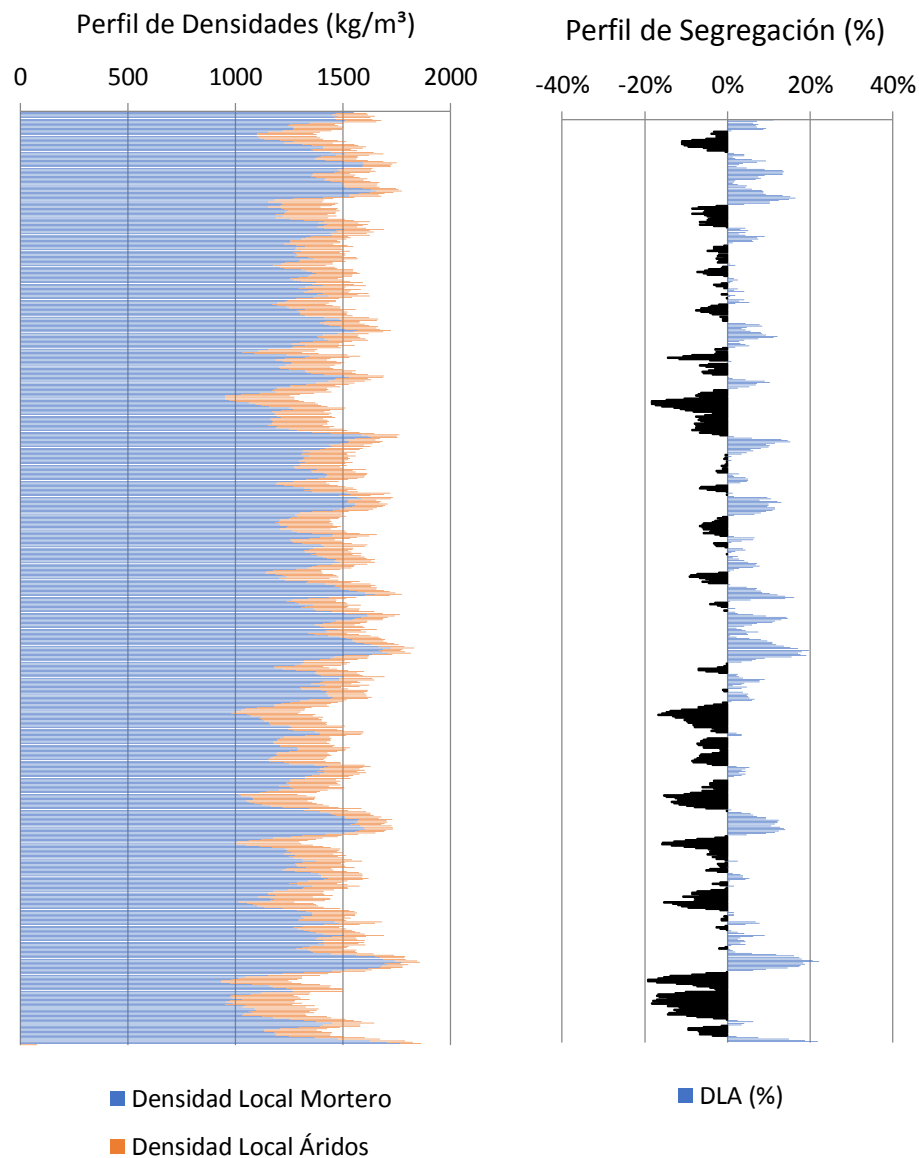
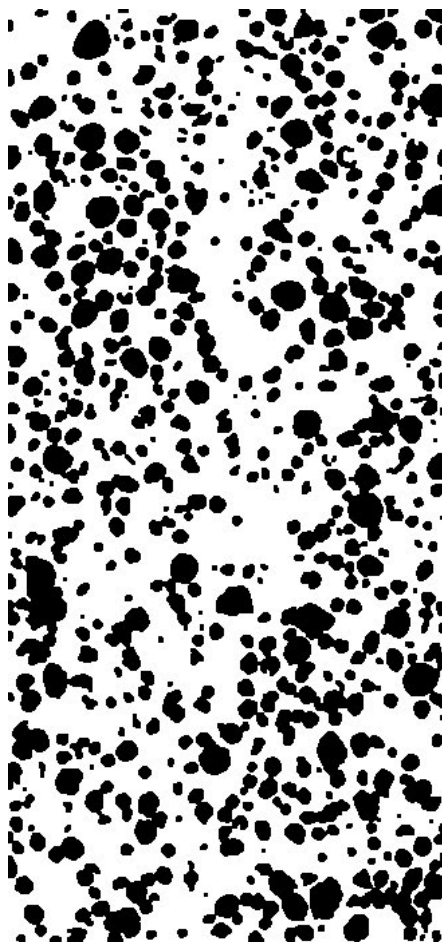
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V20C60B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	38%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	30491
Total de Ptos (2/3) =	26259
Total de Ptos (3/3) =	30487
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	22973
Total de Ptos (2/4) =	18599
Total de Ptos (3/4) =	23551
Total de Ptos (4/4) =	22006
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1481.226
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1451.664
D(2/4) =	1560.254
D(3/4) =	1437.314
D(4/4) =	1475.671
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.983731
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	0%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	17%



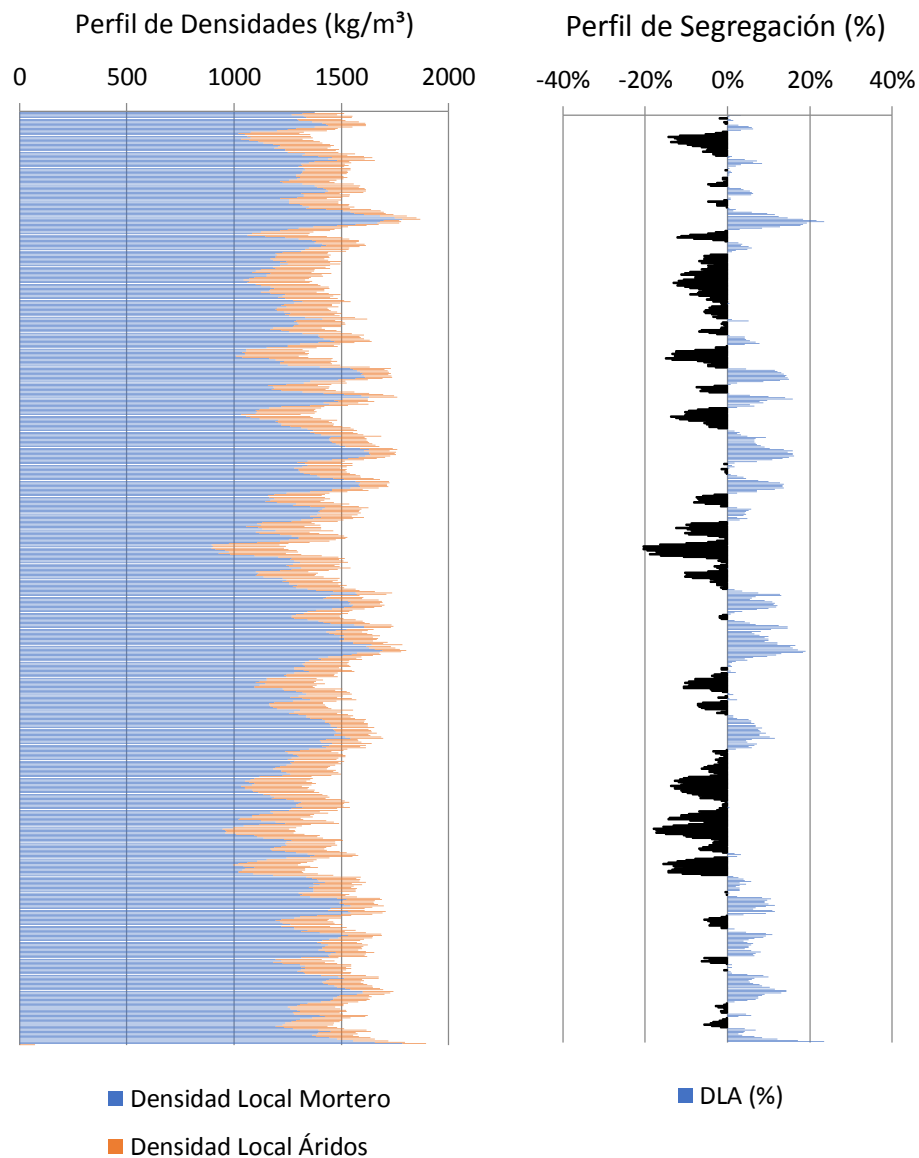
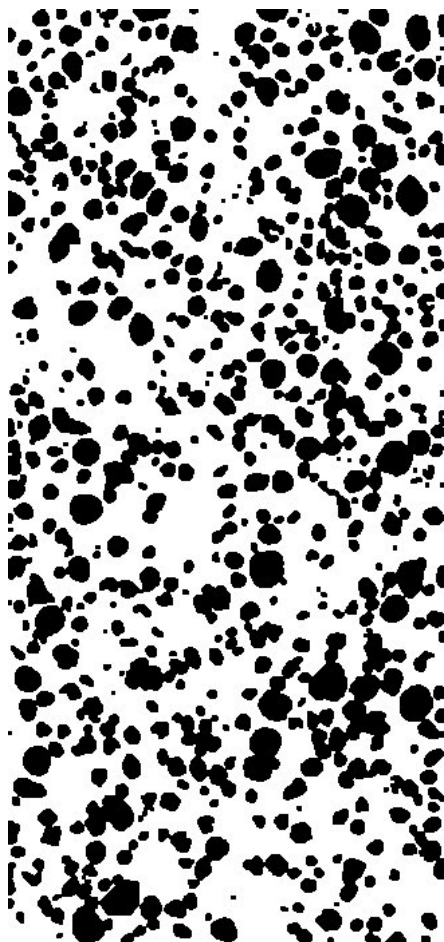
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V20C90A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	35%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	26415
Total de Ptos (2/3) =	24625
Total de Ptos (3/3) =	27708
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	18770
Total de Ptos (2/4) =	20052
Total de Ptos (3/4) =	19451
Total de Ptos (4/4) =	20338
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1534.093
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1556.009
D(2/4) =	1524.182
D(3/4) =	1539.102
D(4/4) =	1517.081
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.02566
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	5%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	14%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

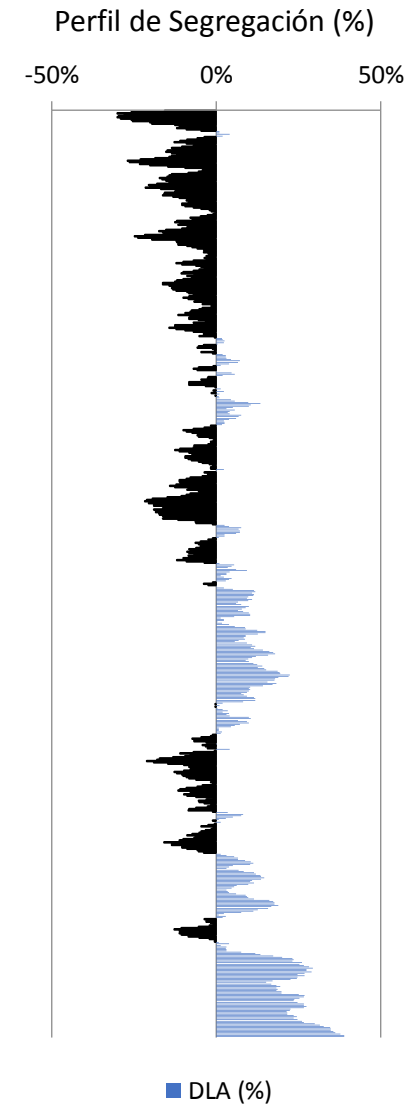
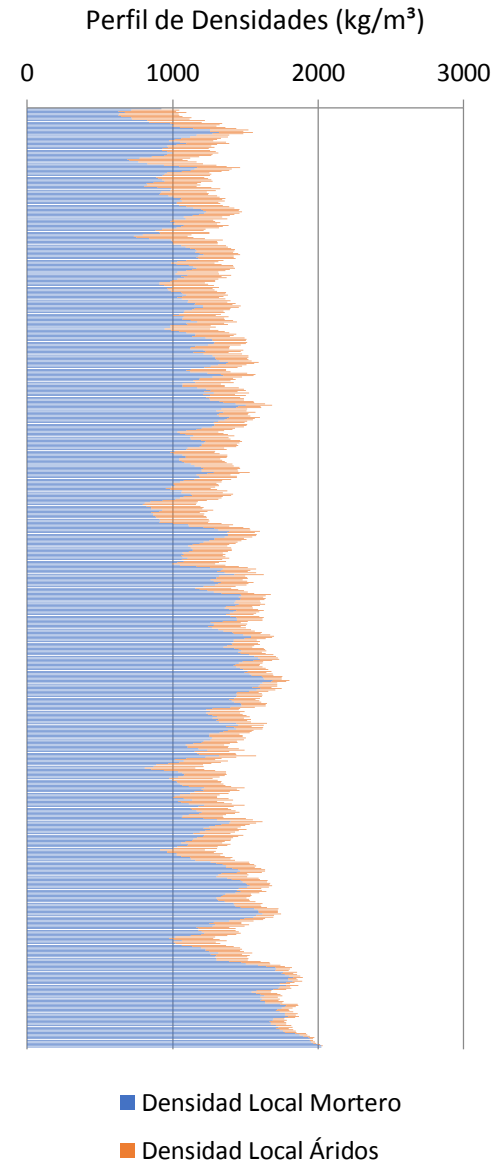
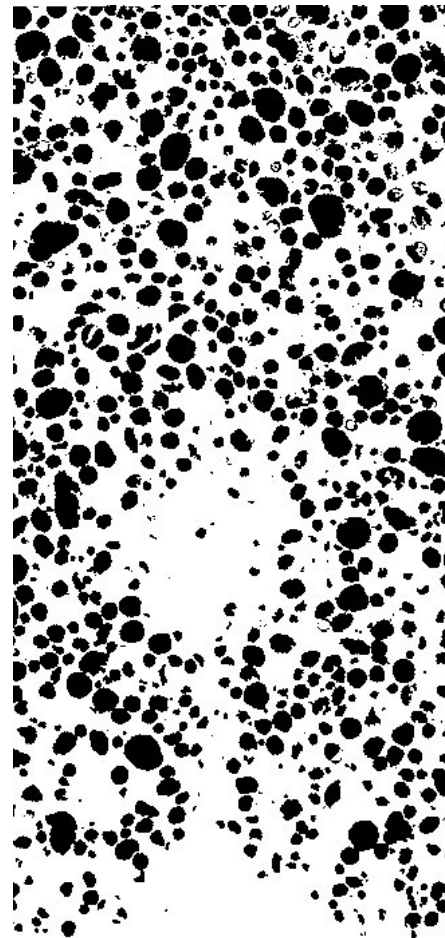
MUESTRA	
HL1700V20C90B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	35%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	27606
Total de Ptos (2/3) =	25645
Total de Ptos (3/3) =	27033
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	20655
Total de Ptos (2/4) =	20348
Total de Ptos (3/4) =	19302
Total de Ptos (4/4) =	19848
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1524.523
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1509.211
D(2/4) =	1516.833
D(3/4) =	1542.801
D(4/4) =	1529.246
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.986899
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	2%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	14%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

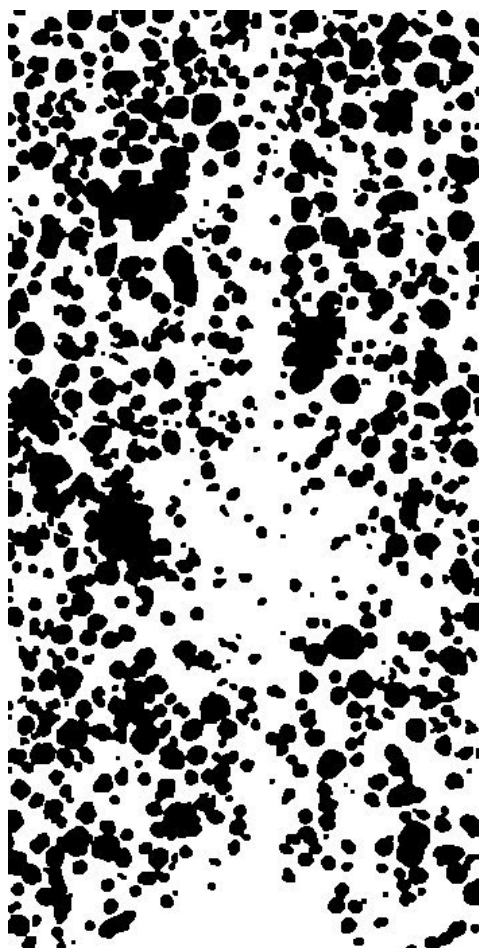


MUESTRA	
HL1700V40C15A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	39%
CDL (%) =	10%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	35448
Total de Ptos (2/3) =	28460
Total de Ptos (3/3) =	24780
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	28233
Total de Ptos (2/4) =	24164
Total de Ptos (3/4) =	19978
Total de Ptos (4/4) =	16199
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1472.257
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1321.077
D(2/4) =	1422.096
D(3/4) =	1526.019
D(4/4) =	1619.838
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.815561
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	35%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	21%

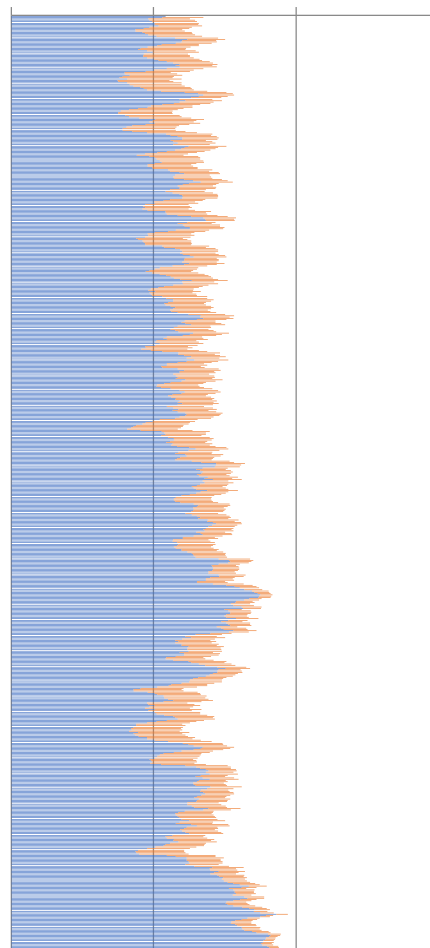


‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V40C15B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	40%
CDL (%) =	9%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	35920
Total de Ptos (2/3) =	28177
Total de Ptos (3/3) =	27478
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	27582
Total de Ptos (2/4) =	24505
Total de Ptos (3/4) =	19908
Total de Ptos (4/4) =	19439
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1454.506
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1337.239
D(2/4) =	1413.63
D(3/4) =	1527.757
D(4/4) =	1539.4
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.868675
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	27%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	18%


Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)

0 1000 2000 3000

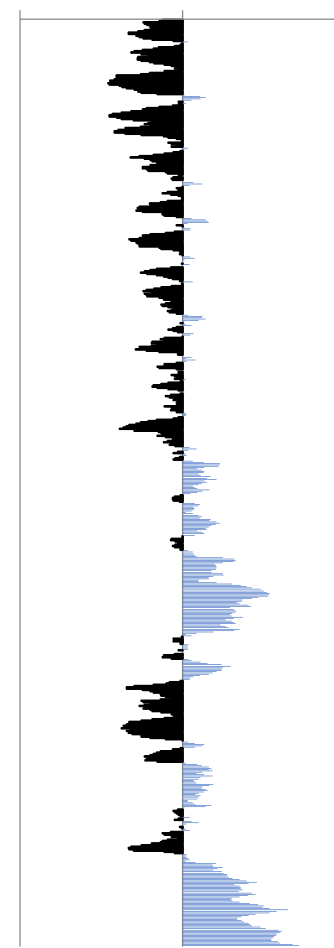


■ Densidad Local Mortero

■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)

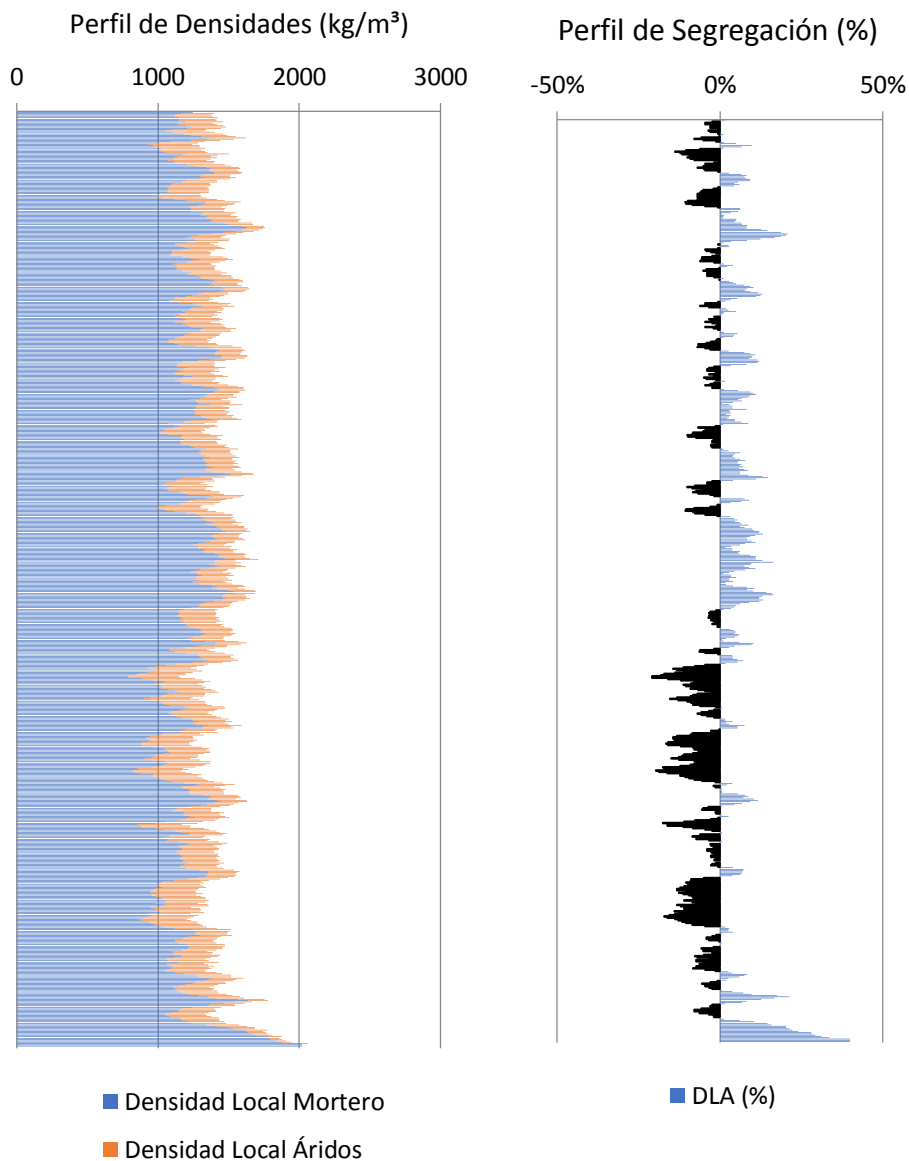
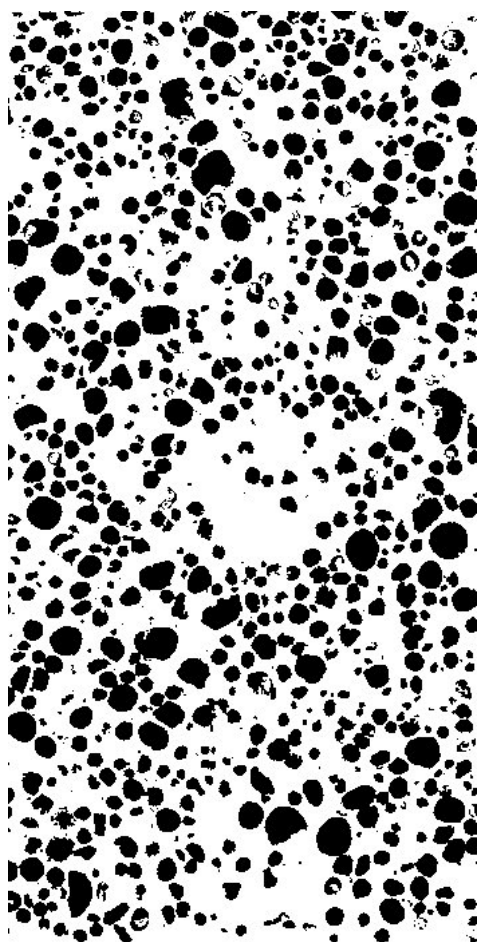
-50% 0% 50%



■ DLA (%)

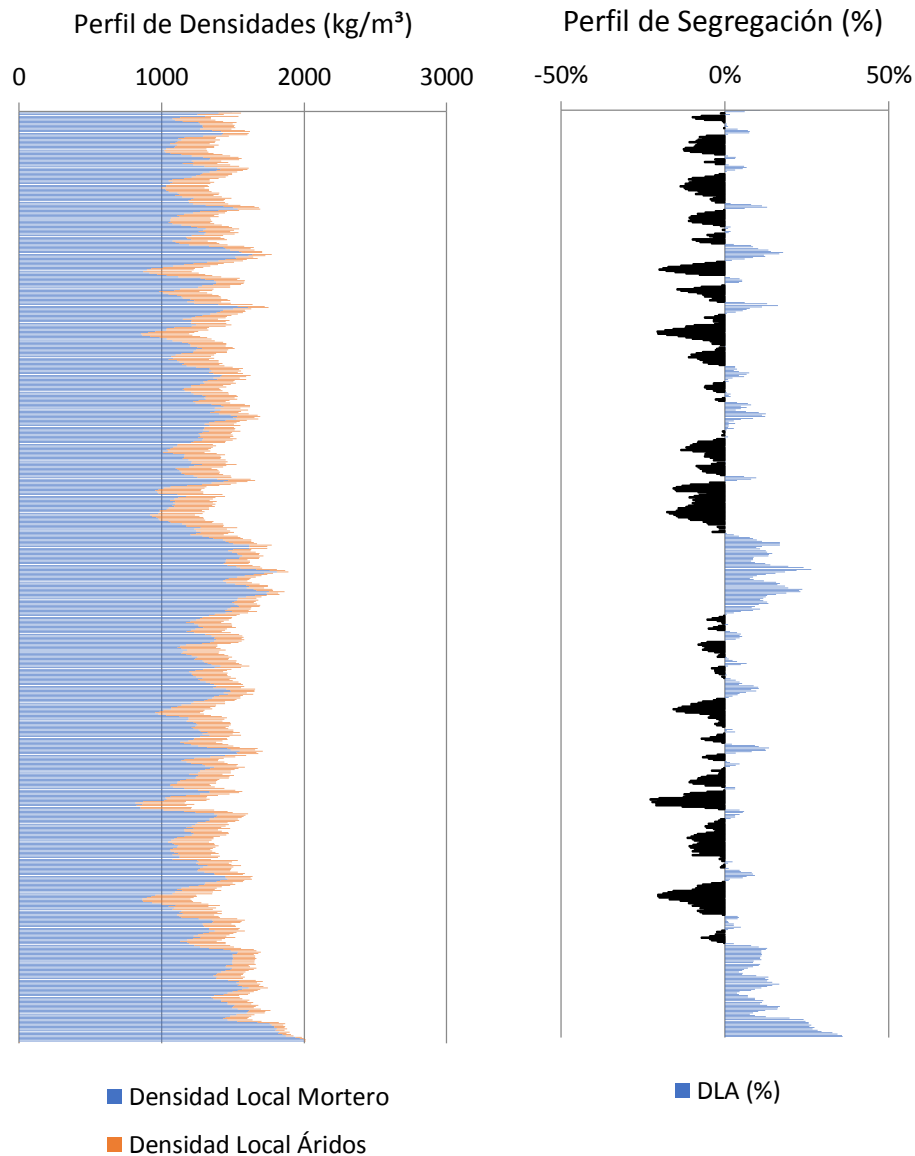
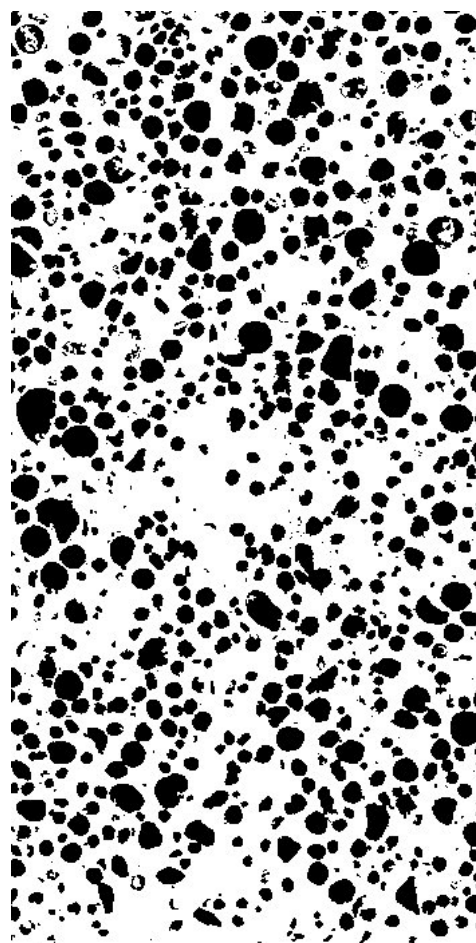
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V40C30A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	40%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	29602
Total de Ptos (2/3) =	29779
Total de Ptos (3/3) =	31941
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	22558
Total de Ptos (2/4) =	21004
Total de Ptos (3/4) =	24390
Total de Ptos (4/4) =	23218
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1456.145
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1461.967
D(2/4) =	1500.547
D(3/4) =	1416.485
D(4/4) =	1445.581
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.011335
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	8%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	14%



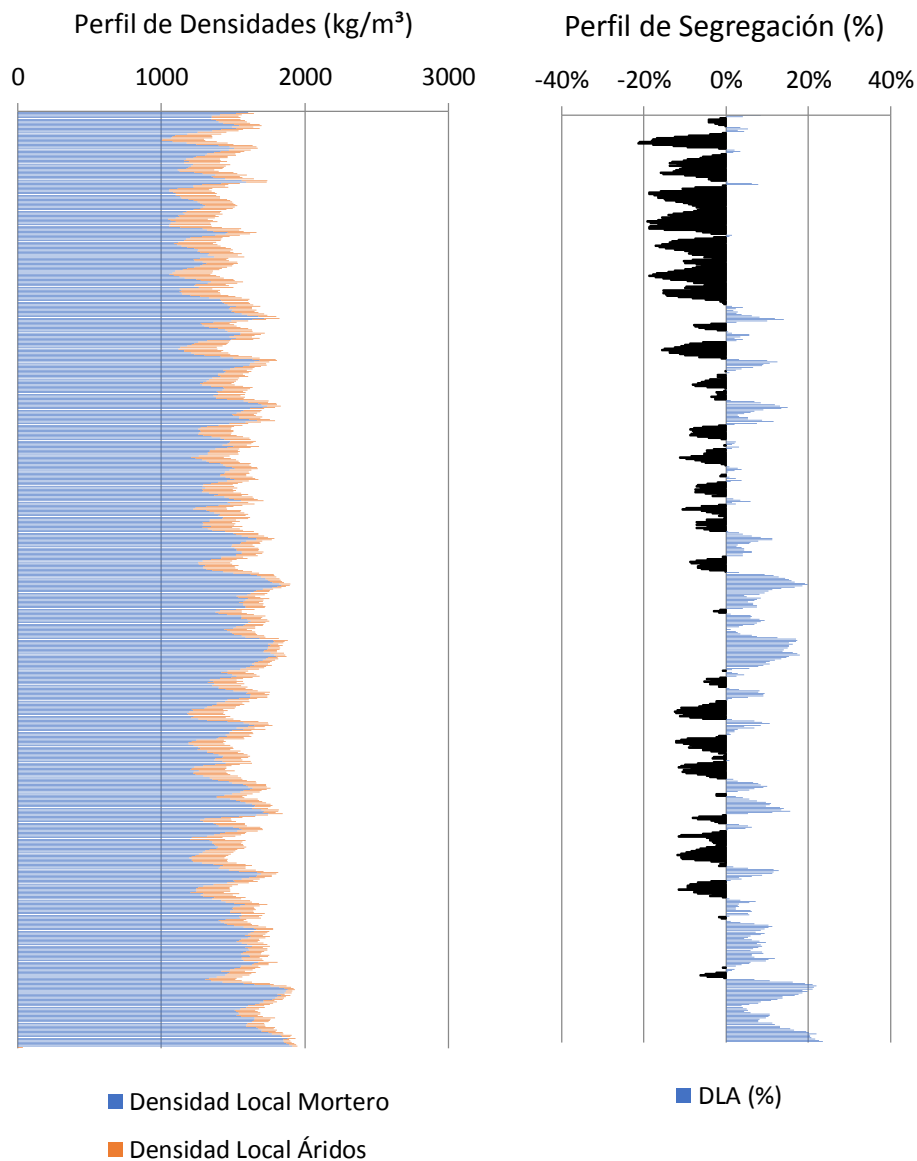
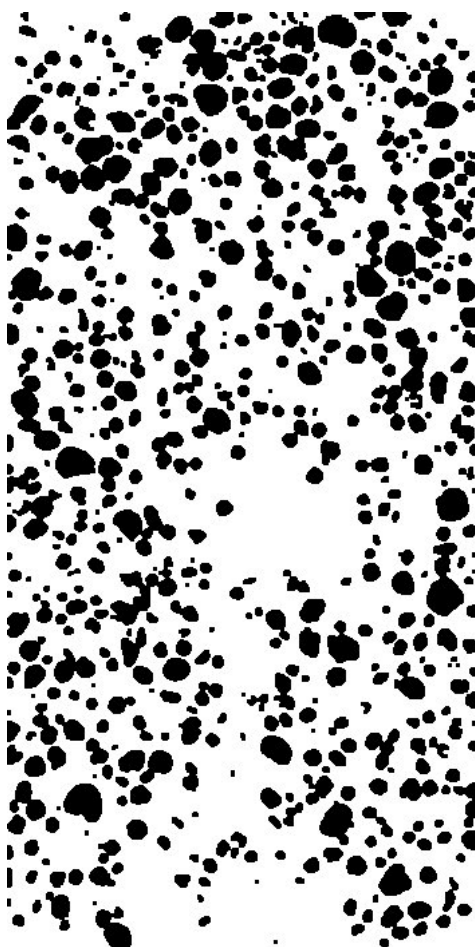
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V40C30B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	37%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	29834
Total de Ptos (2/3) =	27516
Total de Ptos (3/3) =	26754
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	22837
Total de Ptos (2/4) =	21281
Total de Ptos (3/4) =	20766
Total de Ptos (4/4) =	19116
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1500.646
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1455.04
D(2/4) =	1493.67
D(3/4) =	1506.456
D(4/4) =	1547.419
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.940301
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	11%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	16%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

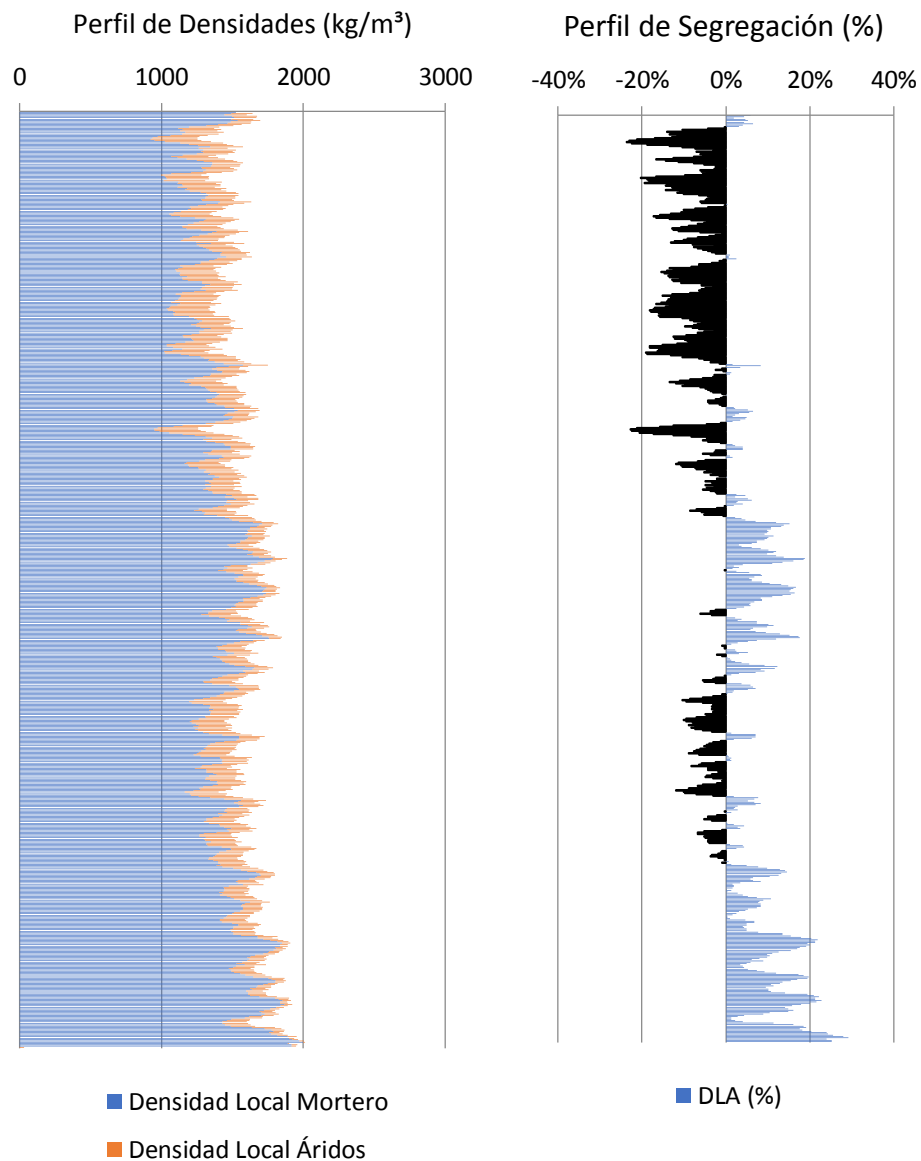
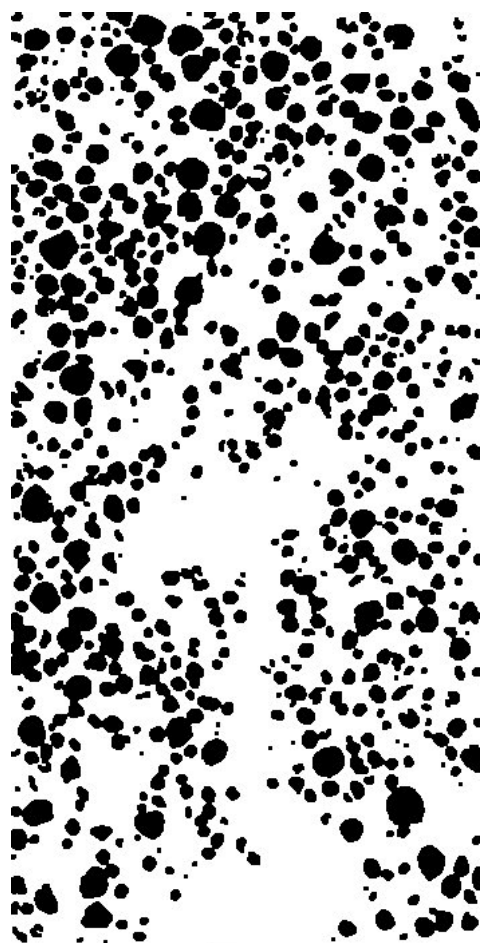
MUESTRA	
HL1700V40C60A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	29%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	26129
Total de Ptos (2/3) =	20556
Total de Ptos (3/3) =	19525
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	20712
Total de Ptos (2/4) =	16910
Total de Ptos (3/4) =	14609
Total de Ptos (4/4) =	13891
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1611.608
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1507.796
D(2/4) =	1602.186
D(3/4) =	1659.312
D(4/4) =	1677.137
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.89903
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	29%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	18%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

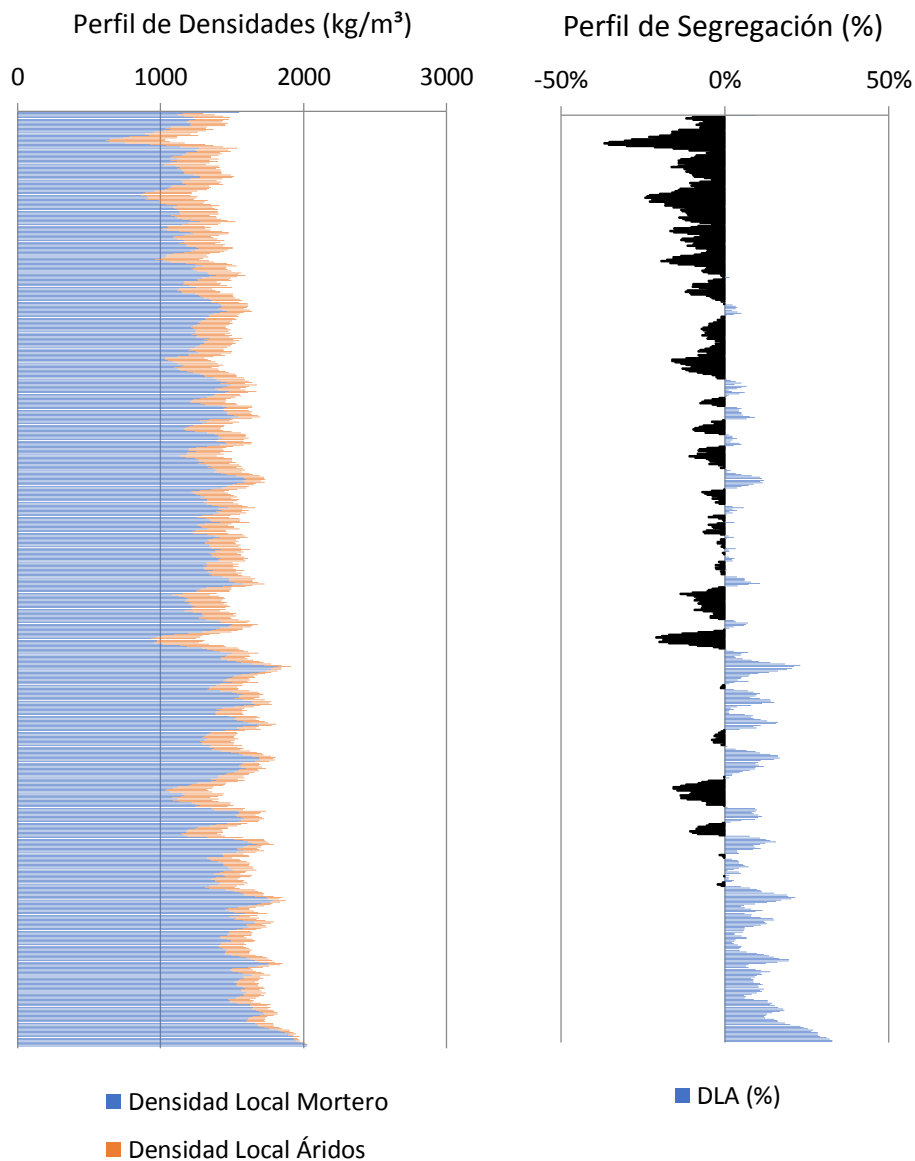
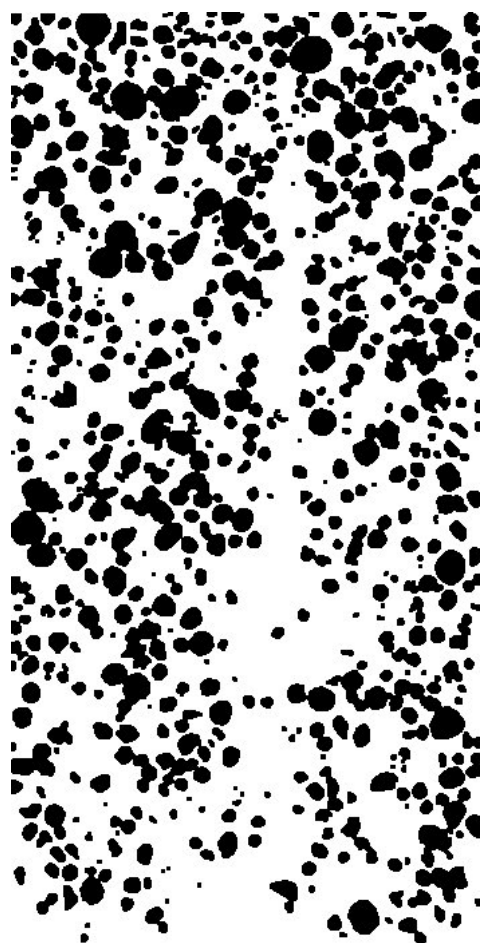


MUESTRA	
HL1700V40C60B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	30%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	29065
Total de Ptos (2/3) =	21790
Total de Ptos (3/3) =	18641
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	22520
Total de Ptos (2/4) =	17678
Total de Ptos (3/4) =	16613
Total de Ptos (4/4) =	12571
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1591.374
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1462.91
D(2/4) =	1583.119
D(3/4) =	1609.559
D(4/4) =	1709.908
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.855549
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	44%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	18%



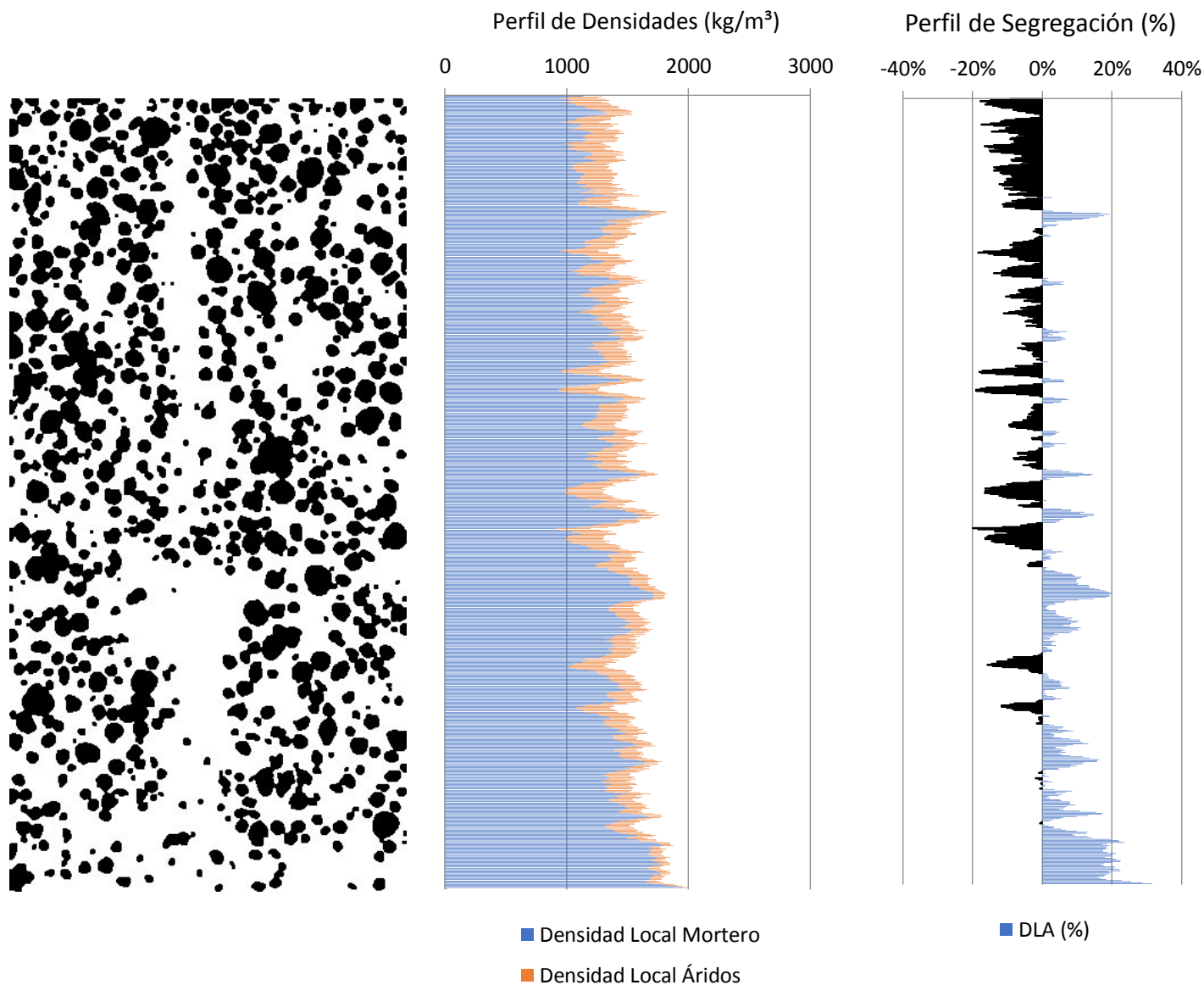
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V40C90A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<b>1.1 Distribución Global</b>	
IAG (%) =	33%
CDL (%) =	8%
<b>1.2 Distribución em 3 Zonas</b>	
Total de Ptos (1/3) =	31074
Total de Ptos (2/3) =	24481
Total de Ptos (3/3) =	19378
<b>1.3 Distribución em 4 Zonas</b>	
Total de Ptos (1/4) =	24272
Total de Ptos (2/4) =	19421
Total de Ptos (3/4) =	17913
Total de Ptos (4/4) =	13210
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<b>2.1 Mitades de Probeta</b>	
Dmp =	1557.648
<b>2.2 Cuartos de Probeta</b>	
D(1/4) =	1419.414
D(2/4) =	1539.847
D(3/4) =	1577.285
D(4/4) =	1694.044
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<b>3.1 Según Ke et al</b>	
IS (Ke) =	0.837885
<b>3.2 Según Navarrete et al</b>	
IS (Navarrete) =	46%
Concepto:	
<b>3.3 Según Solak</b>	
IS vertical (Solak) =	19%



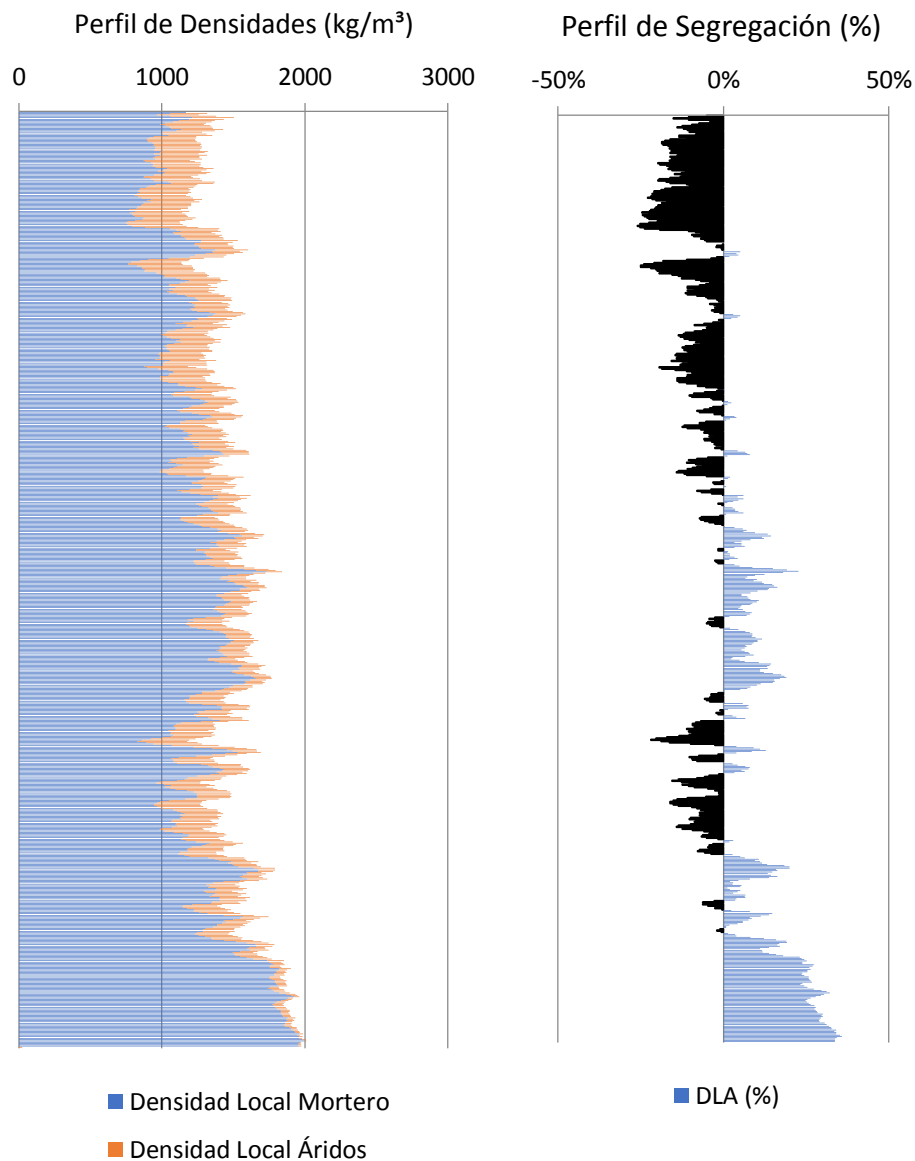
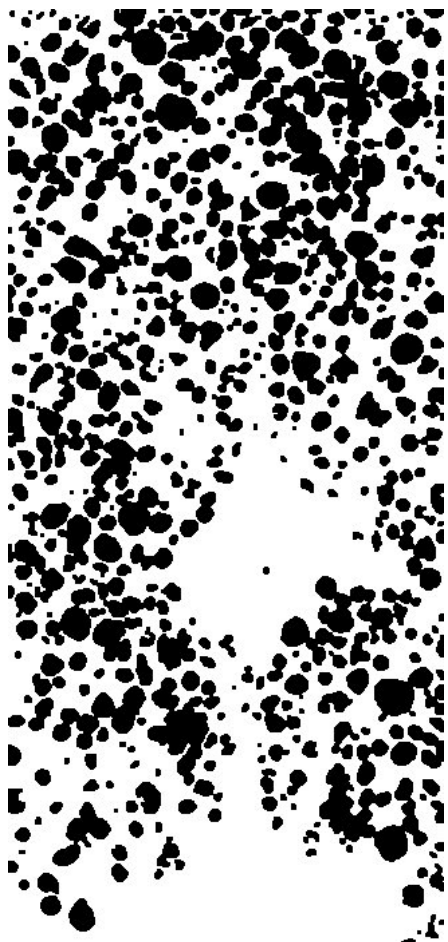
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V40C90B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	35%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	30488
Total de Ptos (2/3) =	27066
Total de Ptos (3/3) =	21617
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	23384
Total de Ptos (2/4) =	21474
Total de Ptos (3/4) =	19023
Total de Ptos (4/4) =	15176
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1531.325
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1441.46
D(2/4) =	1488.878
D(3/4) =	1549.728
D(4/4) =	1645.235
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.876142
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	34%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	17%



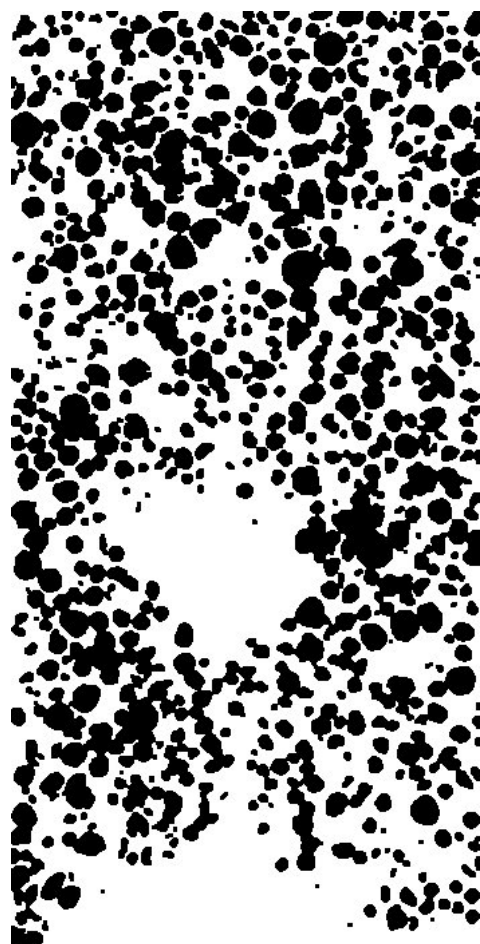
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V80C15A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	37%
CDL (%) =	11%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	36558
Total de Ptos (2/3) =	26174
Total de Ptos (3/3) =	21940
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	27922
Total de Ptos (2/4) =	22530
Total de Ptos (3/4) =	20208
Total de Ptos (4/4) =	13868
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1497.369
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1328.798
D(2/4) =	1462.662
D(3/4) =	1520.309
D(4/4) =	1677.708
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.792032
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	50%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	23%

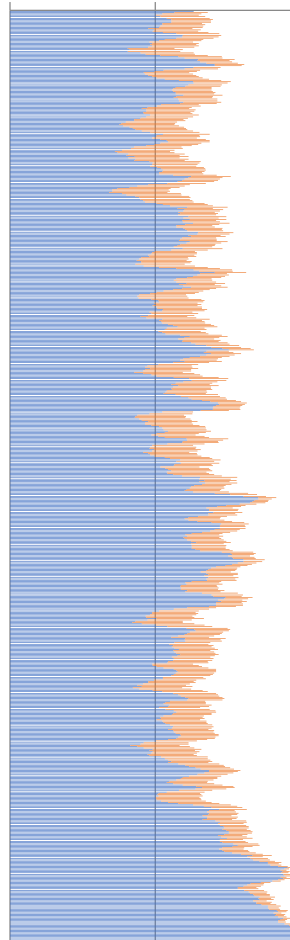


‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V80C15B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	40%
CDL (%) =	10%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	36780
Total de Ptos (2/3) =	30277
Total de Ptos (3/3) =	25020
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	27604
Total de Ptos (2/4) =	25993
Total de Ptos (3/4) =	21994
Total de Ptos (4/4) =	16328
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1451.496
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1336.693
D(2/4) =	1376.688
D(3/4) =	1475.969
D(4/4) =	1616.635
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.826836
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	38%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	21%


Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)

0 1000 2000 3000

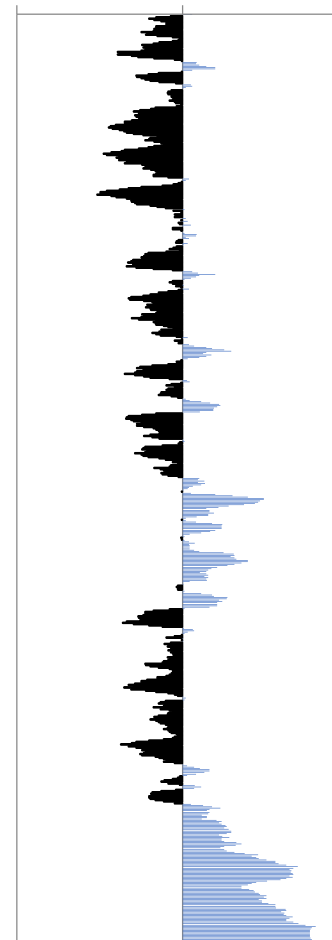


■ Densidad Local Mortero

■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)

-50% 0% 50%

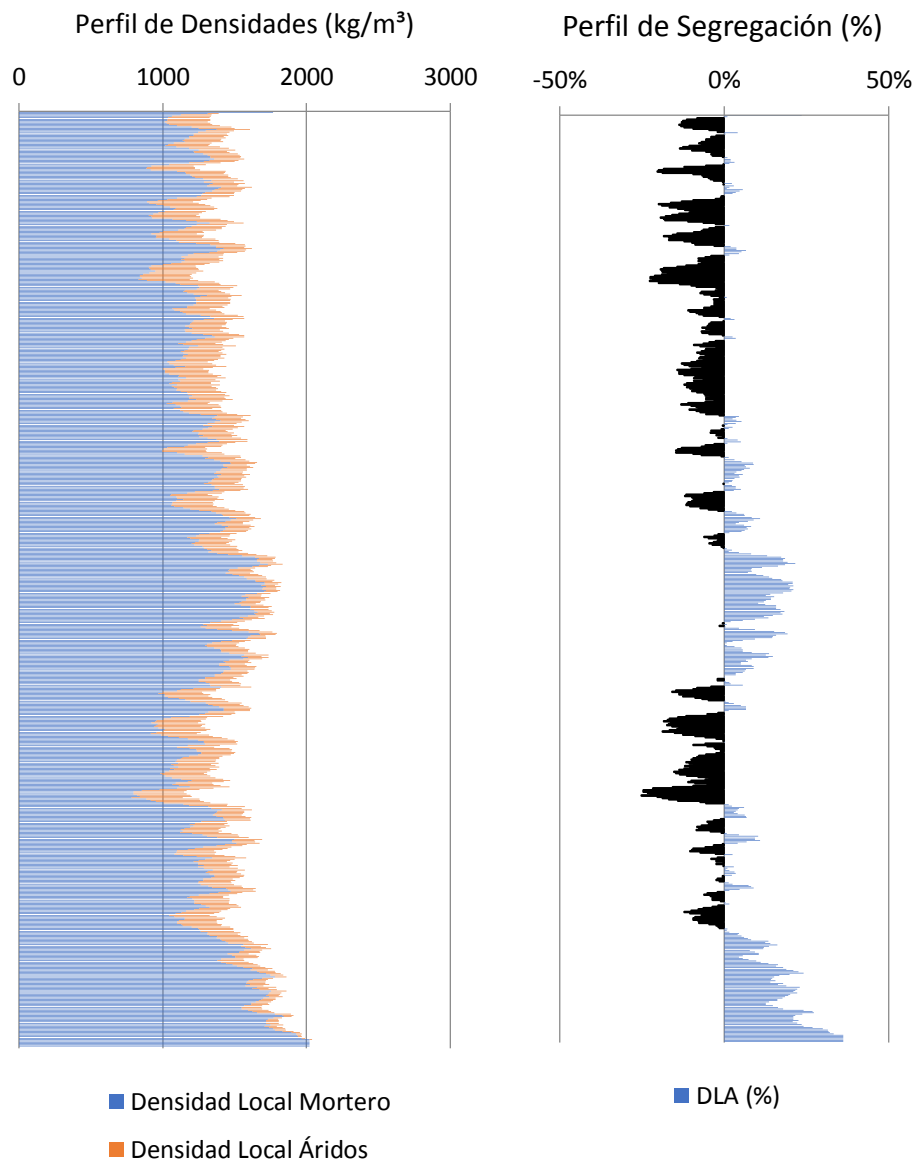
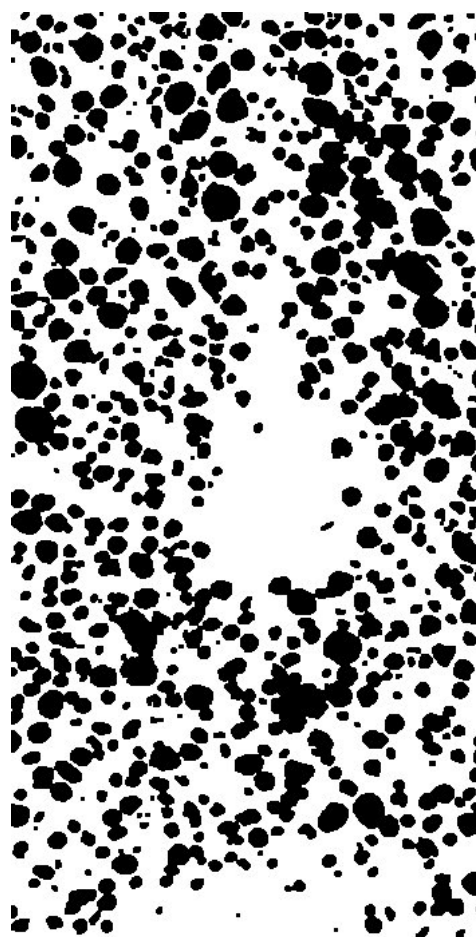


■ DLA (%)

‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

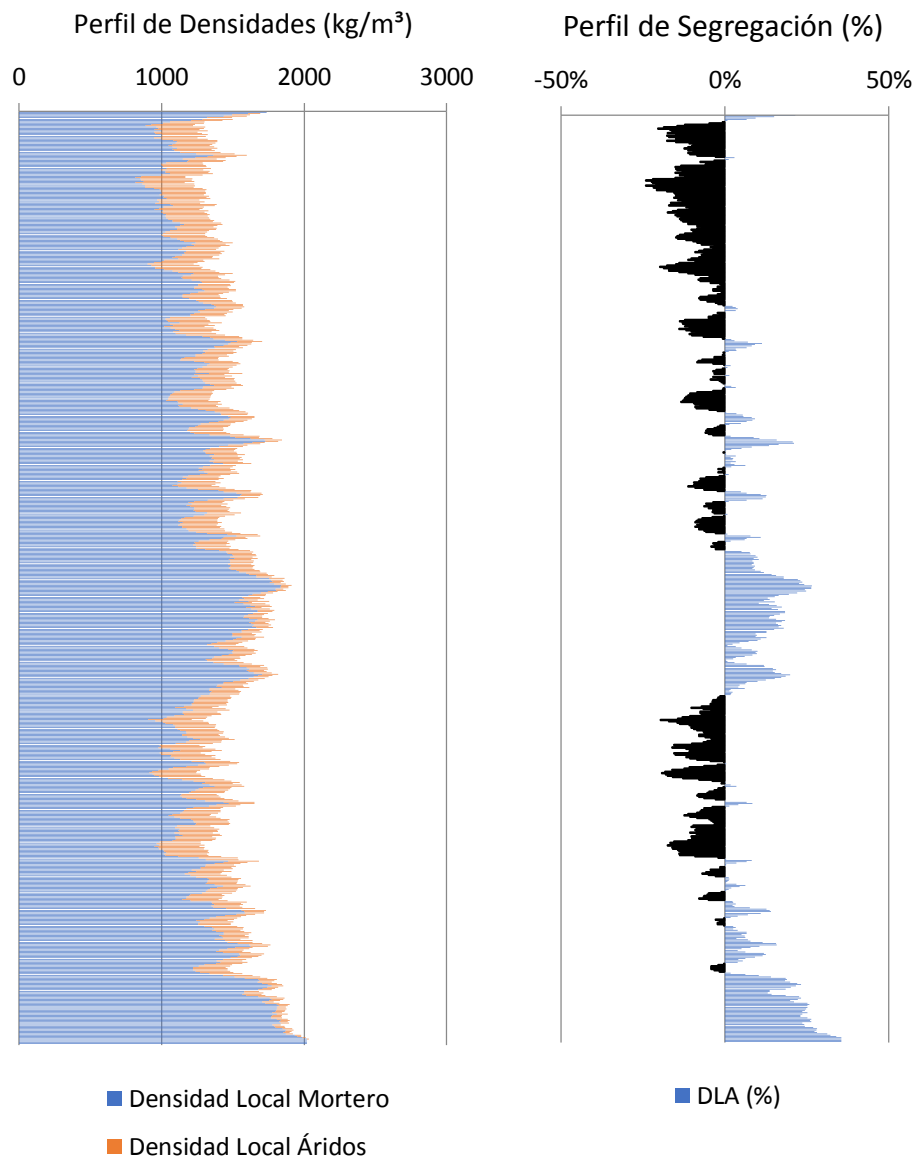
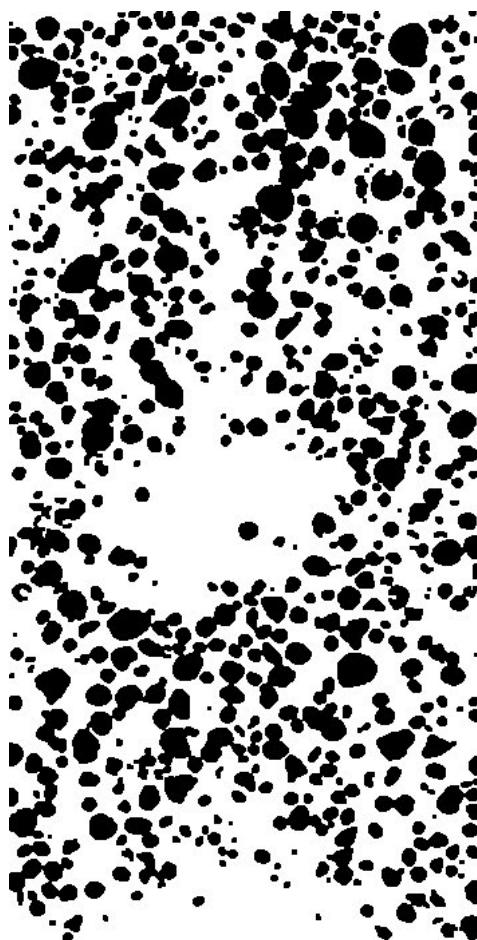


MUESTRA	
HL1700V80C30A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	36%
CDL (%) =	9%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	32765
Total de Ptos (2/3) =	25071
Total de Ptos (3/3) =	24495
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	24475
Total de Ptos (2/4) =	21146
Total de Ptos (3/4) =	20624
Total de Ptos (4/4) =	15972
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1511.713
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1414.375
D(2/4) =	1497.022
D(3/4) =	1509.981
D(4/4) =	1625.473
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.870131
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	29%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	20%



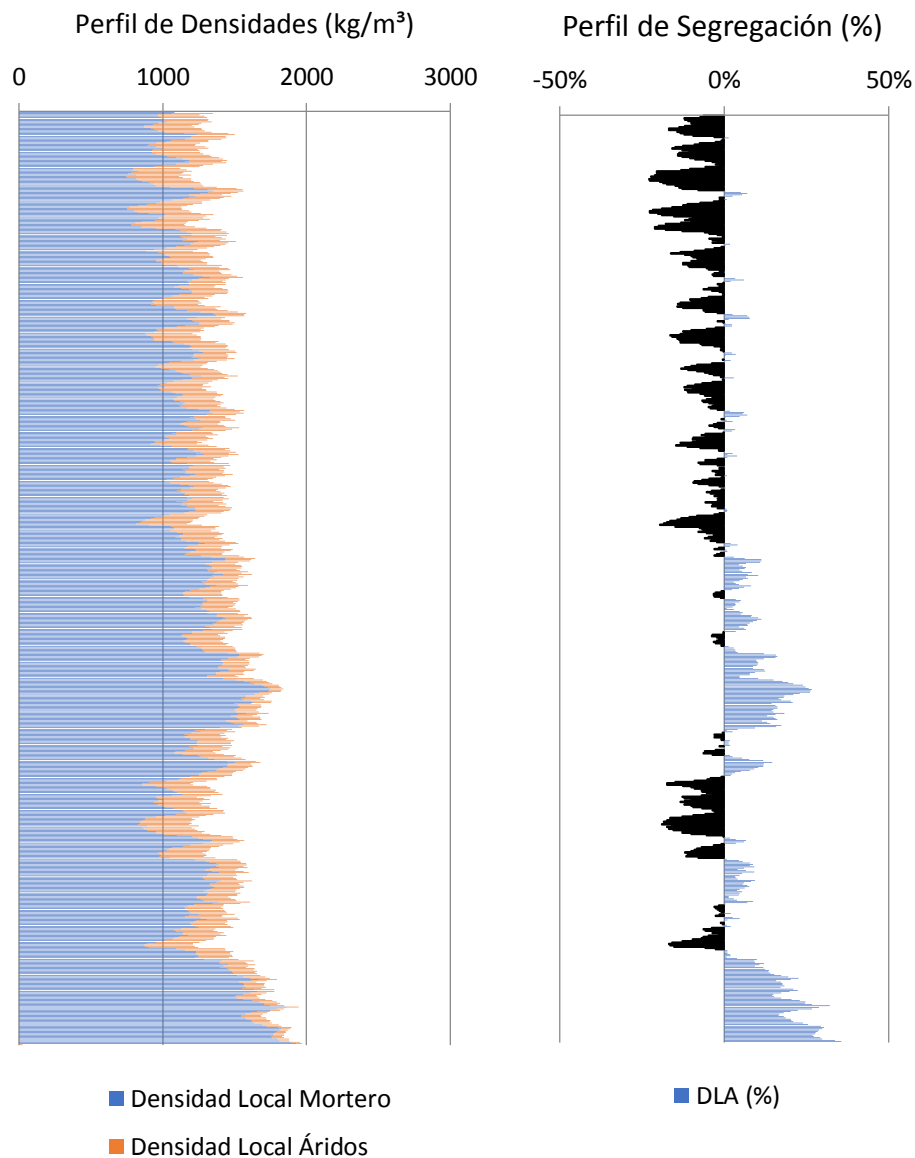
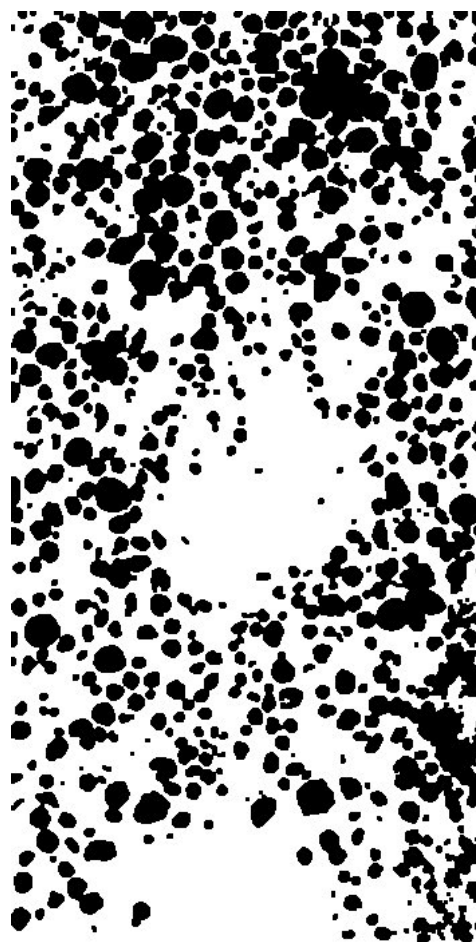
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V80C30B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	36%
CDL (%) =	10%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	32806
Total de Ptos (2/3) =	23551
Total de Ptos (3/3) =	24730
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	25559
Total de Ptos (2/4) =	20006
Total de Ptos (3/4) =	18707
Total de Ptos (4/4) =	16704
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1519.415
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1387.463
D(2/4) =	1525.324
D(3/4) =	1557.573
D(4/4) =	1607.3
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.863226
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	28%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	21%



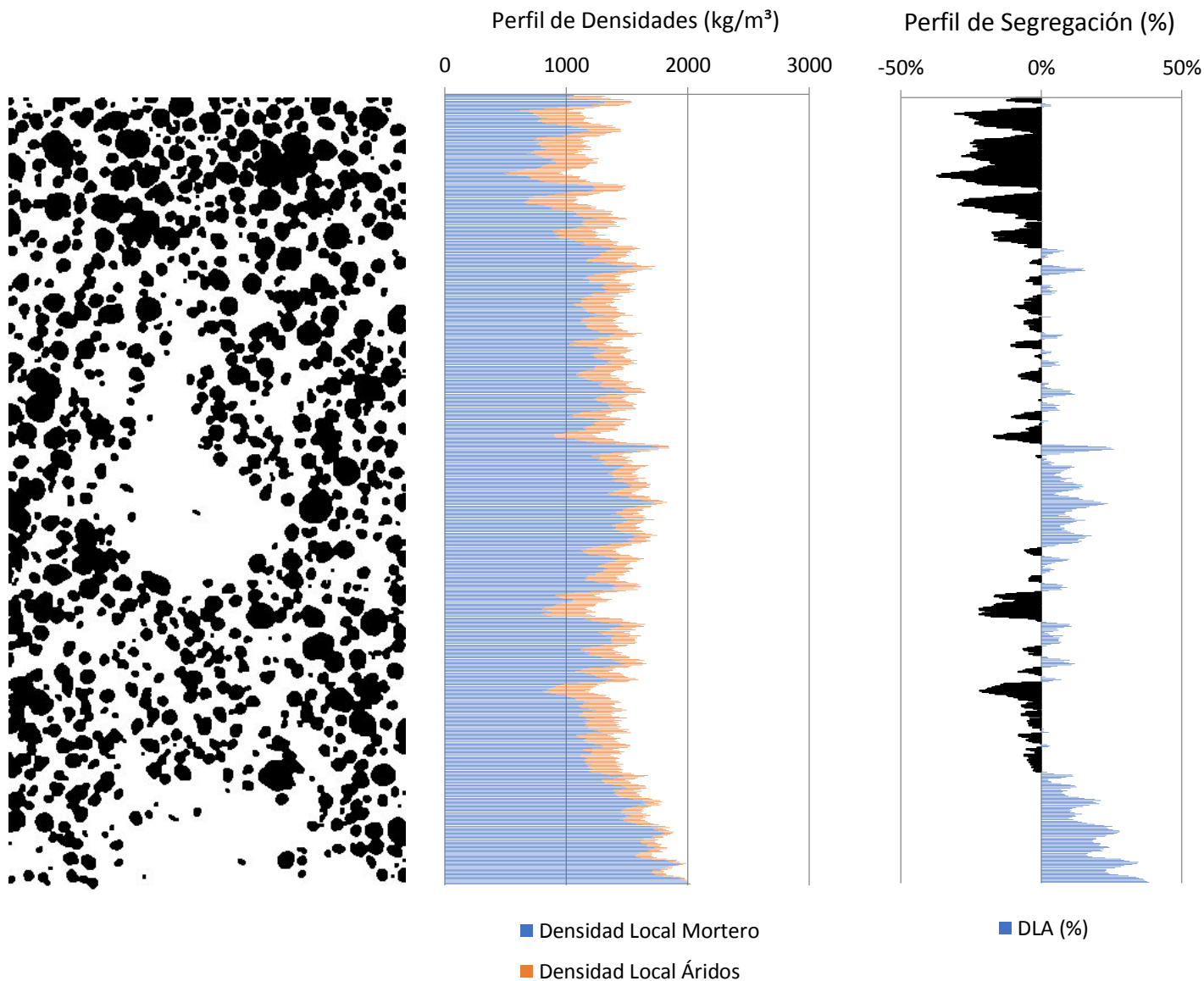
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V80C60A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	40%
CDL (%) =	9%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	35920
Total de Ptos (2/3) =	28177
Total de Ptos (3/3) =	27478
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	27582
Total de Ptos (2/4) =	24505
Total de Ptos (3/4) =	19908
Total de Ptos (4/4) =	19439
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1454.506
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1337.239
D(2/4) =	1413.63
D(3/4) =	1527.757
D(4/4) =	1539.4
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.868675
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	27%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	18%



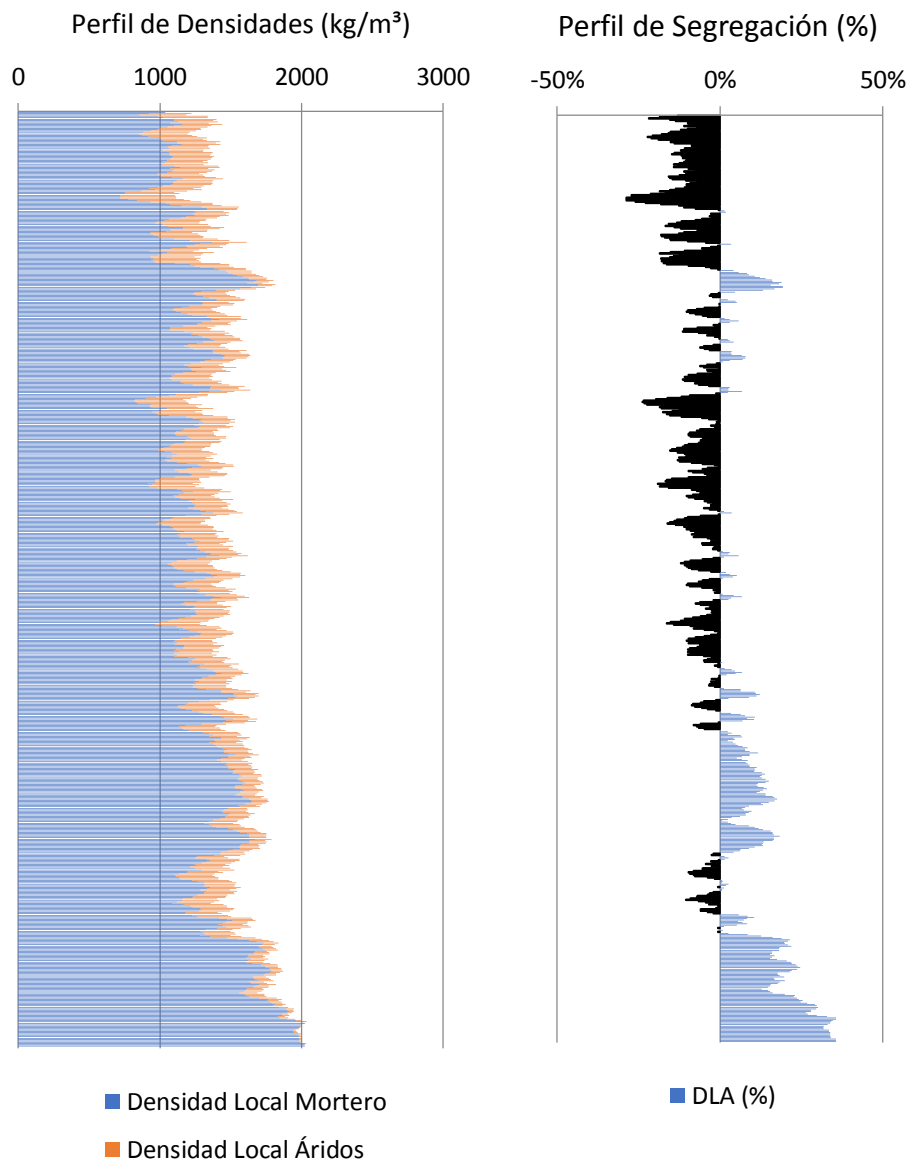
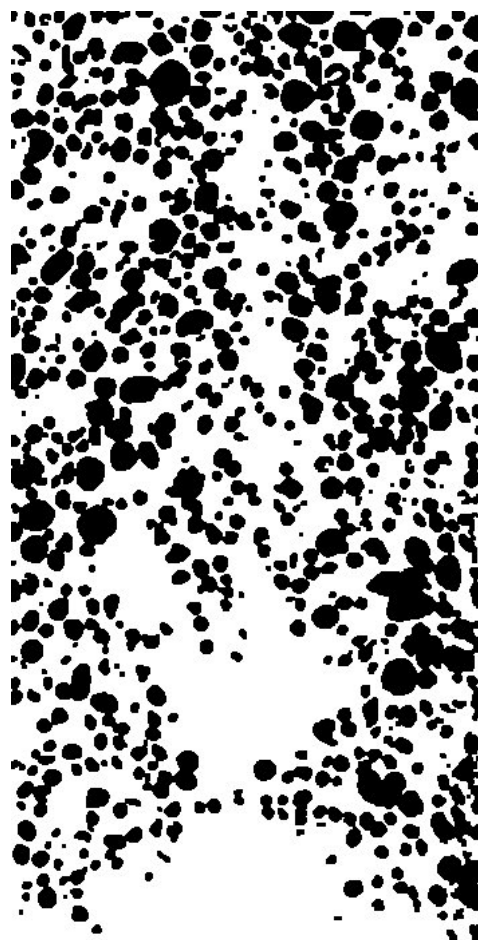
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1700V80C60B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	39%
CDL (%) =	10%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	36278
Total de Ptos (2/3) =	27368
Total de Ptos (3/3) =	24081
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	28426
Total de Ptos (2/4) =	21380
Total de Ptos (3/4) =	20636
Total de Ptos (4/4) =	17161
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1478.284
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1316.286
D(2/4) =	1491.212
D(3/4) =	1509.683
D(4/4) =	1595.955
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.824764
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	40%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	21%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

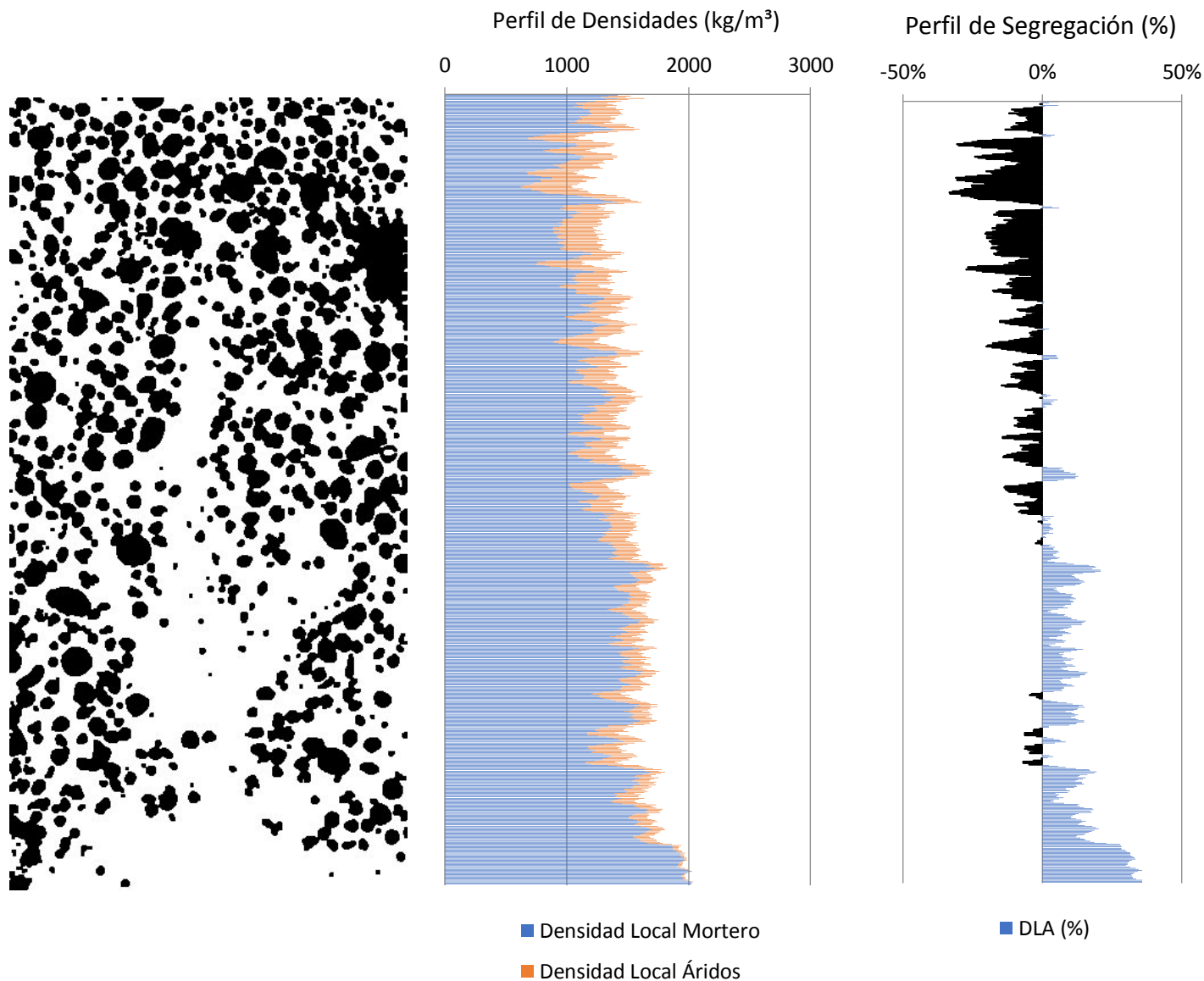
MUESTRA	
HL1700V80C90A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	36%
CDL (%) =	10%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	32650
Total de Ptos (2/3) =	30653
Total de Ptos (3/3) =	17909
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	24617
Total de Ptos (2/4) =	24070
Total de Ptos (3/4) =	19295
Total de Ptos (4/4) =	13110
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1518.695
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1410.849
D(2/4) =	1424.429
D(3/4) =	1542.975
D(4/4) =	1696.526
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.831611
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	58%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	22%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

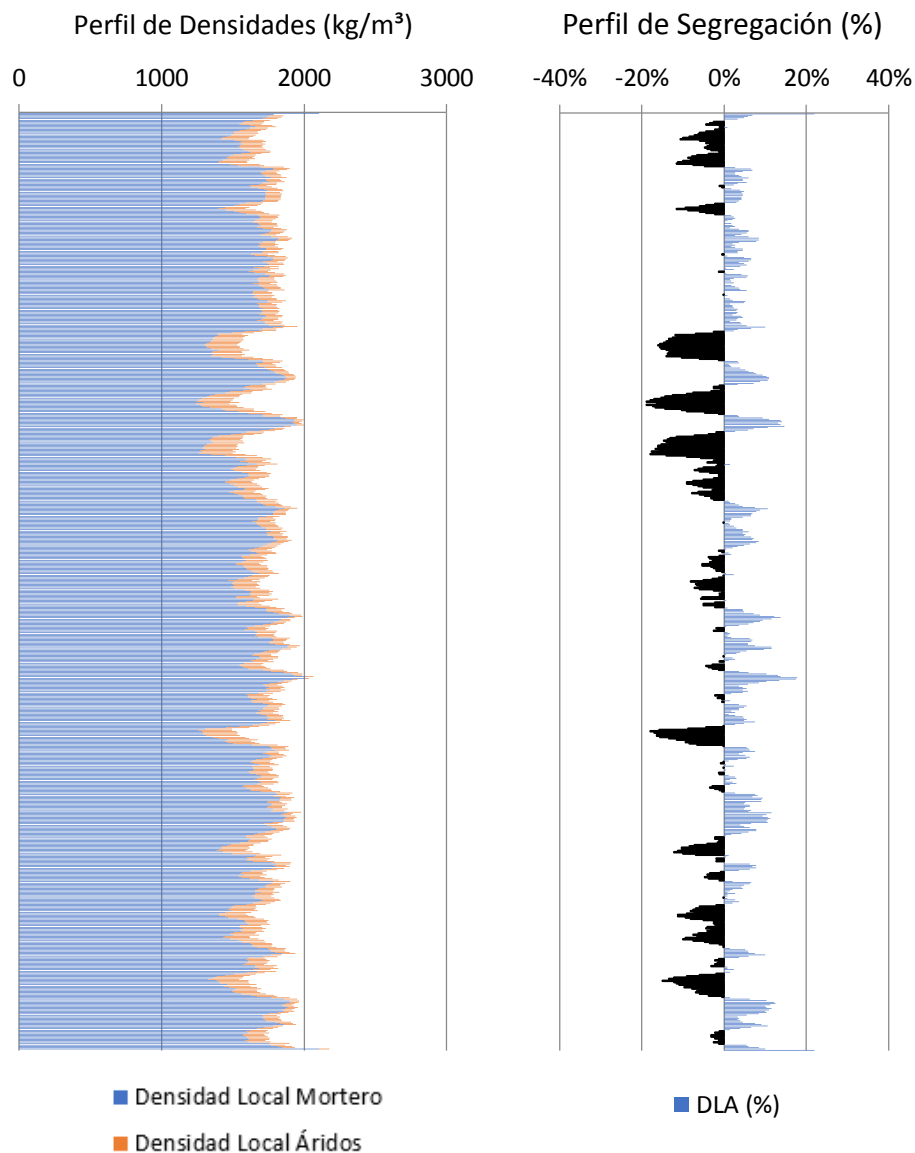
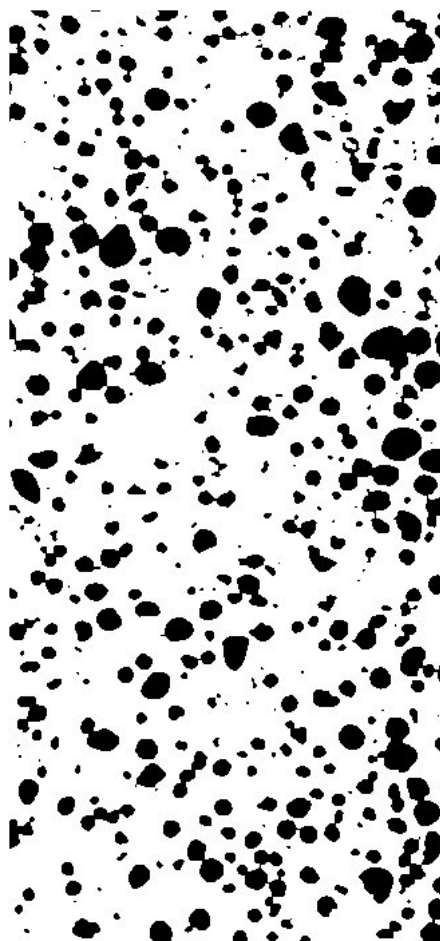


MUESTRA	
HL1700V80C90B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2022
MUESTRA	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	36%
CDL (%) =	11%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	36630
Total de Ptos (2/3) =	27042
Total de Ptos (3/3) =	18067
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	28528
Total de Ptos (2/4) =	23274
Total de Ptos (3/4) =	16778
Total de Ptos (4/4) =	13021
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1515.536
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1313.753
D(2/4) =	1444.191
D(3/4) =	1605.463
D(4/4) =	1698.736
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.773371
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	68%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	24%



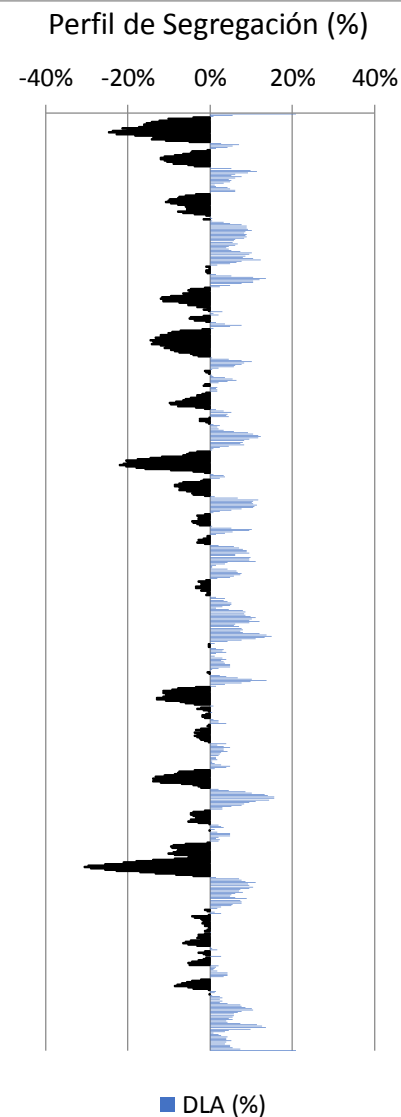
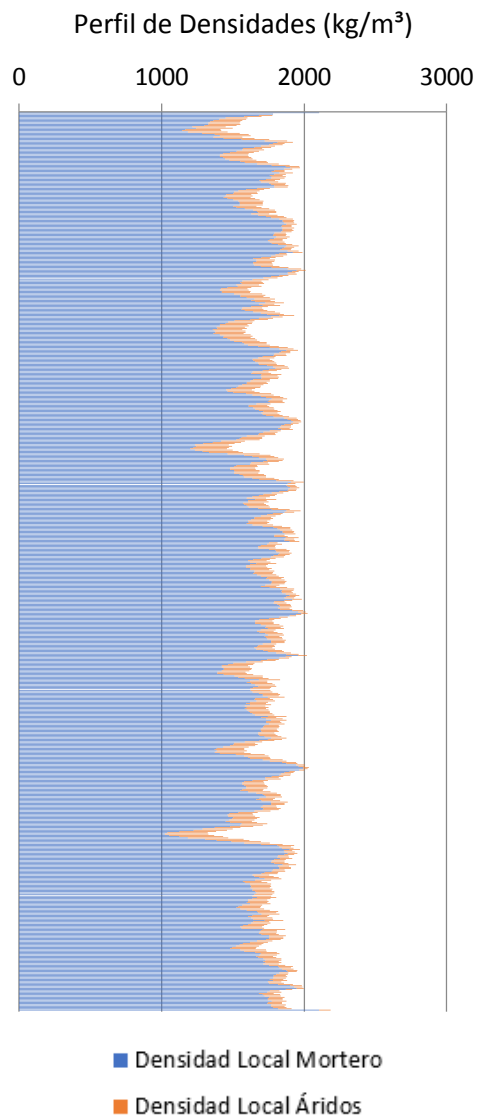
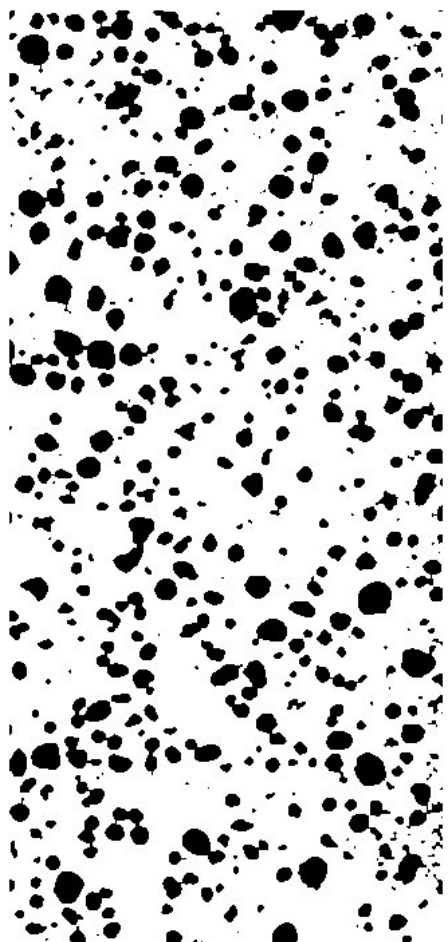
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V0C15A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	22%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	17074
Total de Ptos (2/3) =	16883
Total de Ptos (3/3) =	16176
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	12412
Total de Ptos (2/4) =	13764
Total de Ptos (3/4) =	11438
Total de Ptos (4/4) =	12495
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1774.933
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1777.96
D(2/4) =	1742.445
D(3/4) =	1803.545
D(4/4) =	1775.78
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.001228
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	5%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	16%



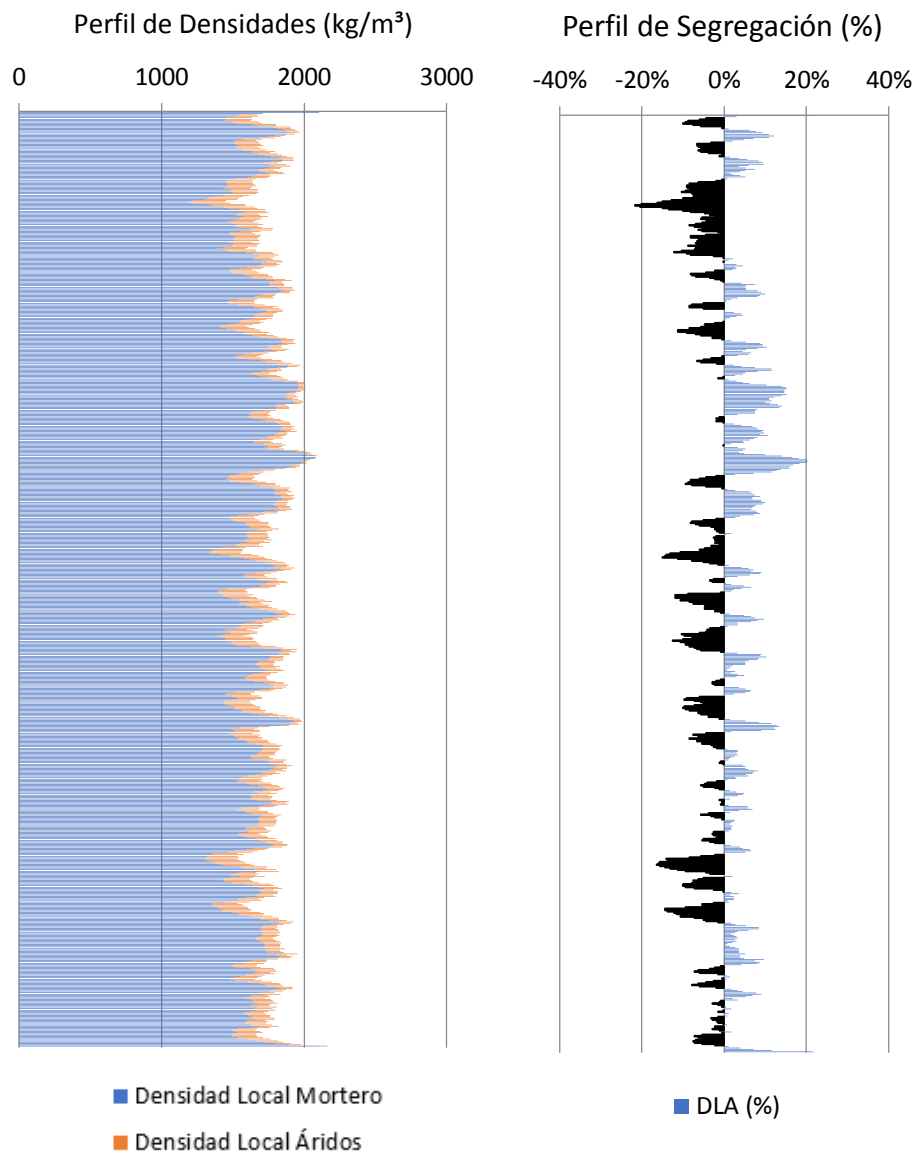
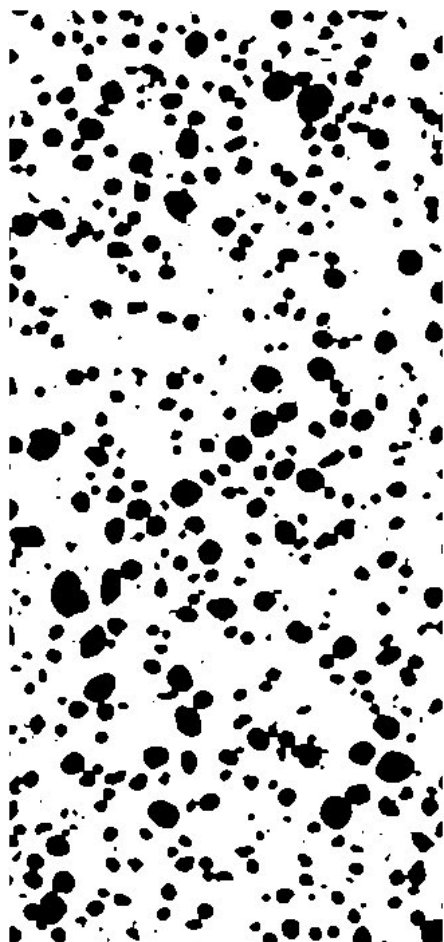
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V0C15B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	21%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	16903
Total de Ptos (2/3) =	14948
Total de Ptos (3/3) =	15707
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	12845
Total de Ptos (2/4) =	11631
Total de Ptos (3/4) =	11073
Total de Ptos (4/4) =	11949
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1792.079
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1766.586
D(2/4) =	1798.475
D(3/4) =	1813.133
D(4/4) =	1790.122
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.986852
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	7%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	18%



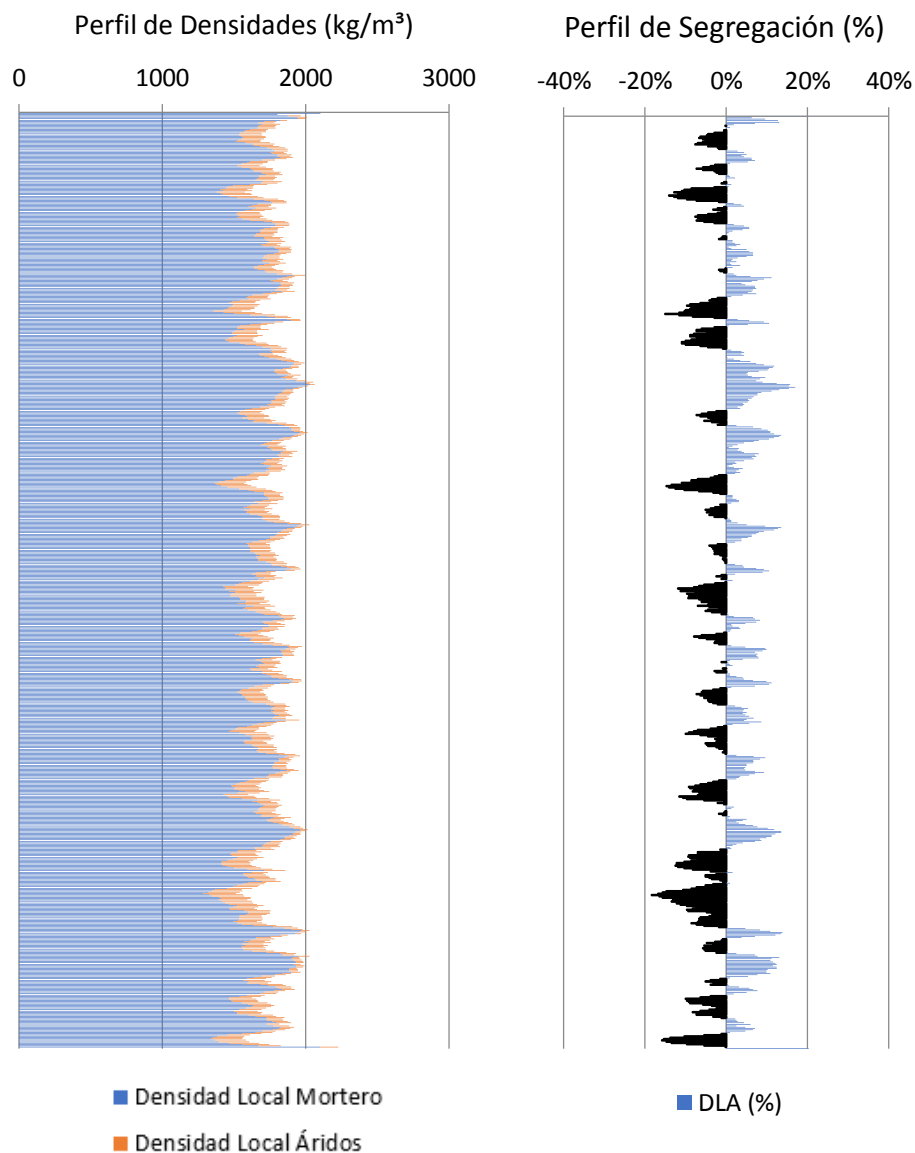
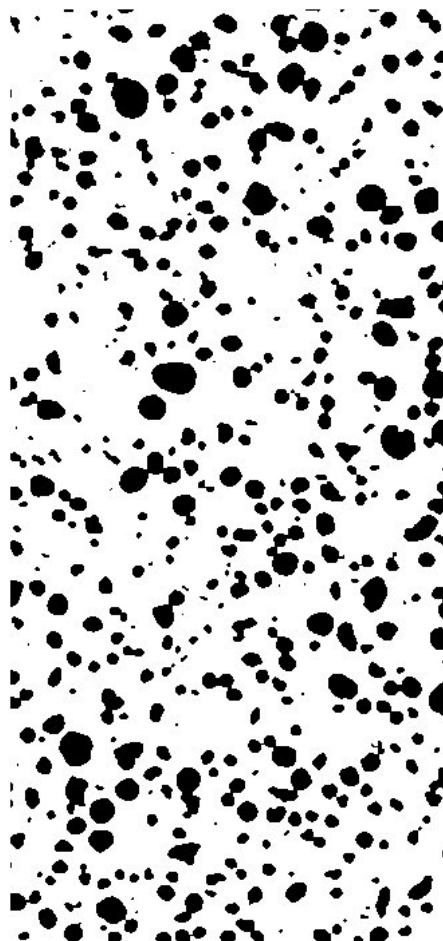
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900VOC30A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	22%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	16530
Total de Ptos (2/3) =	15885
Total de Ptos (3/3) =	17023
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	13531
Total de Ptos (2/4) =	10189
Total de Ptos (3/4) =	12564
Total de Ptos (4/4) =	13109
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1779.635
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1748.566
D(2/4) =	1836.354
D(3/4) =	1773.967
D(4/4) =	1759.651
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.9937
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	3%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	17%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

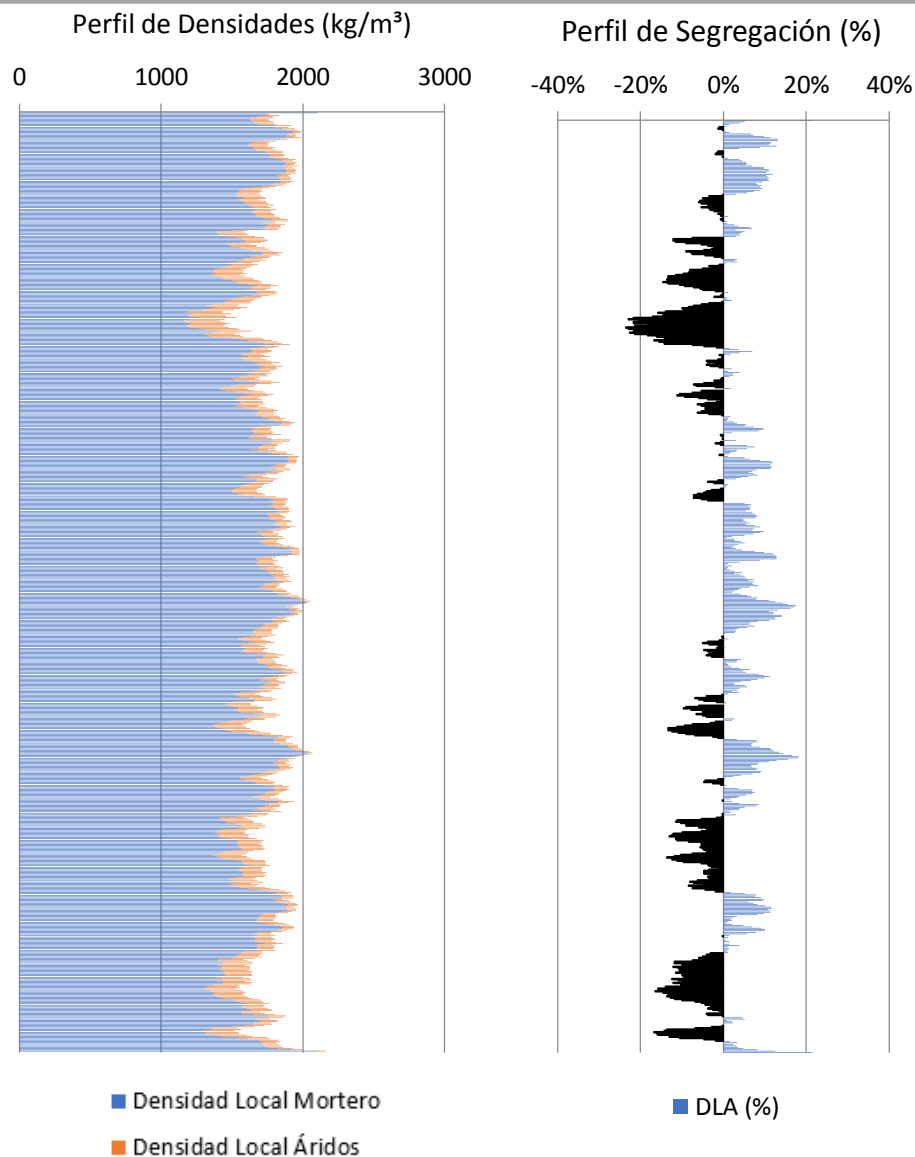
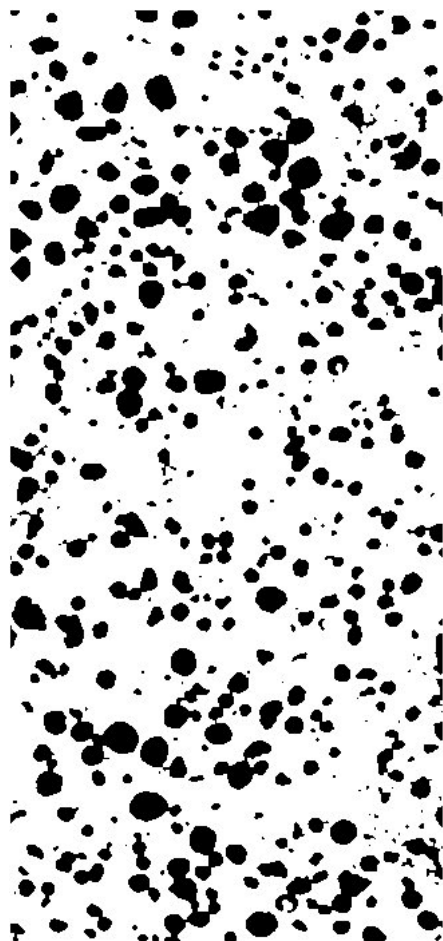
MUESTRA	
HL1900V0C30B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	20%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	15105
Total de Ptos (2/3) =	15026
Total de Ptos (3/3) =	16257
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	12135
Total de Ptos (2/4) =	10023
Total de Ptos (3/4) =	11882
Total de Ptos (4/4) =	12303
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1799.664
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1785.236
D(2/4) =	1840.715
D(3/4) =	1791.882
D(4/4) =	1780.823
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.002478
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	7%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	17%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.



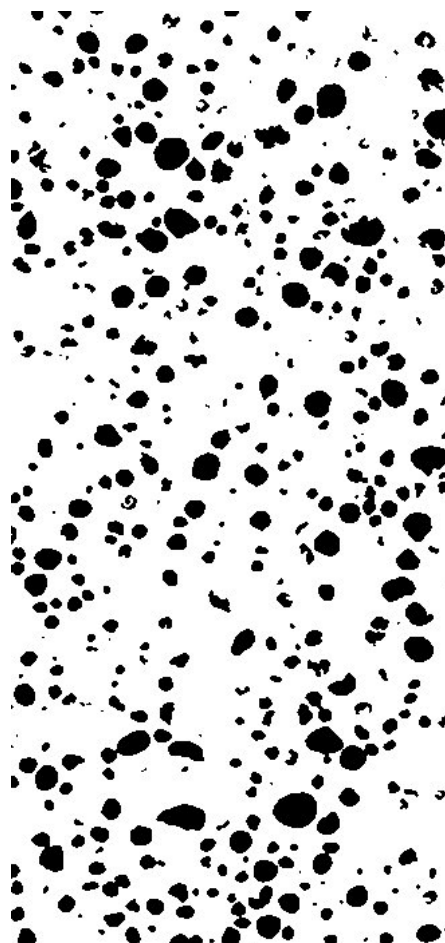
MUESTRA	
HL1900VOC60A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	21%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	17859
Total de Ptos (2/3) =	13900
Total de Ptos (3/3) =	17117
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	13510
Total de Ptos (2/4) =	10853
Total de Ptos (3/4) =	10320
Total de Ptos (4/4) =	14151
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1783.306
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1749.118
D(2/4) =	1818.912
D(3/4) =	1832.913
D(4/4) =	1732.28
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.00972
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	4%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	19%



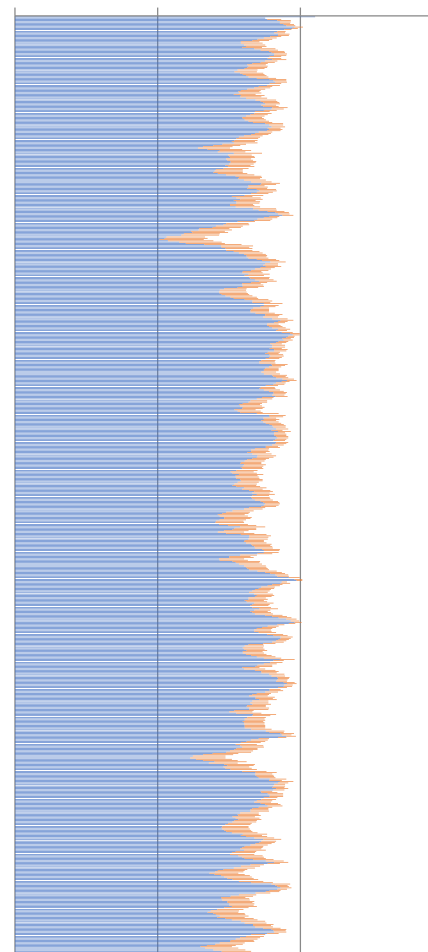
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900VOC60B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	22%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	17377
Total de Ptos (2/3) =	14549
Total de Ptos (3/3) =	17237
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	13349
Total de Ptos (2/4) =	10672
Total de Ptos (3/4) =	11459
Total de Ptos (4/4) =	13643
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1781.408
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1753.347
D(2/4) =	1823.666
D(3/4) =	1802.993
D(4/4) =	1745.624
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.004424
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	1%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	17%

HORMIGÓN 2


Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)

0 1000 2000 3000

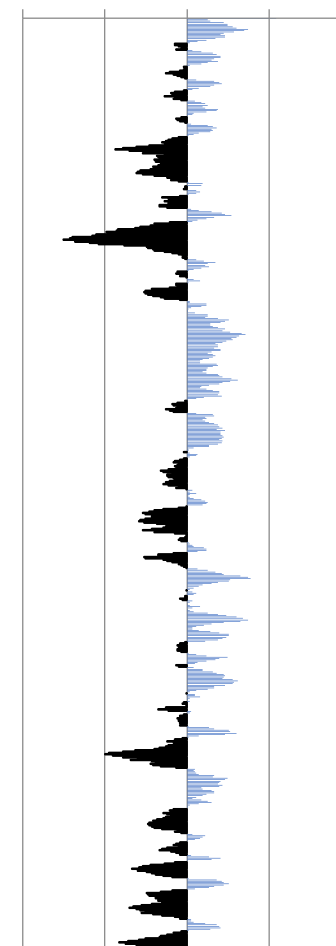


■ Densidad Local Mortero

■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)

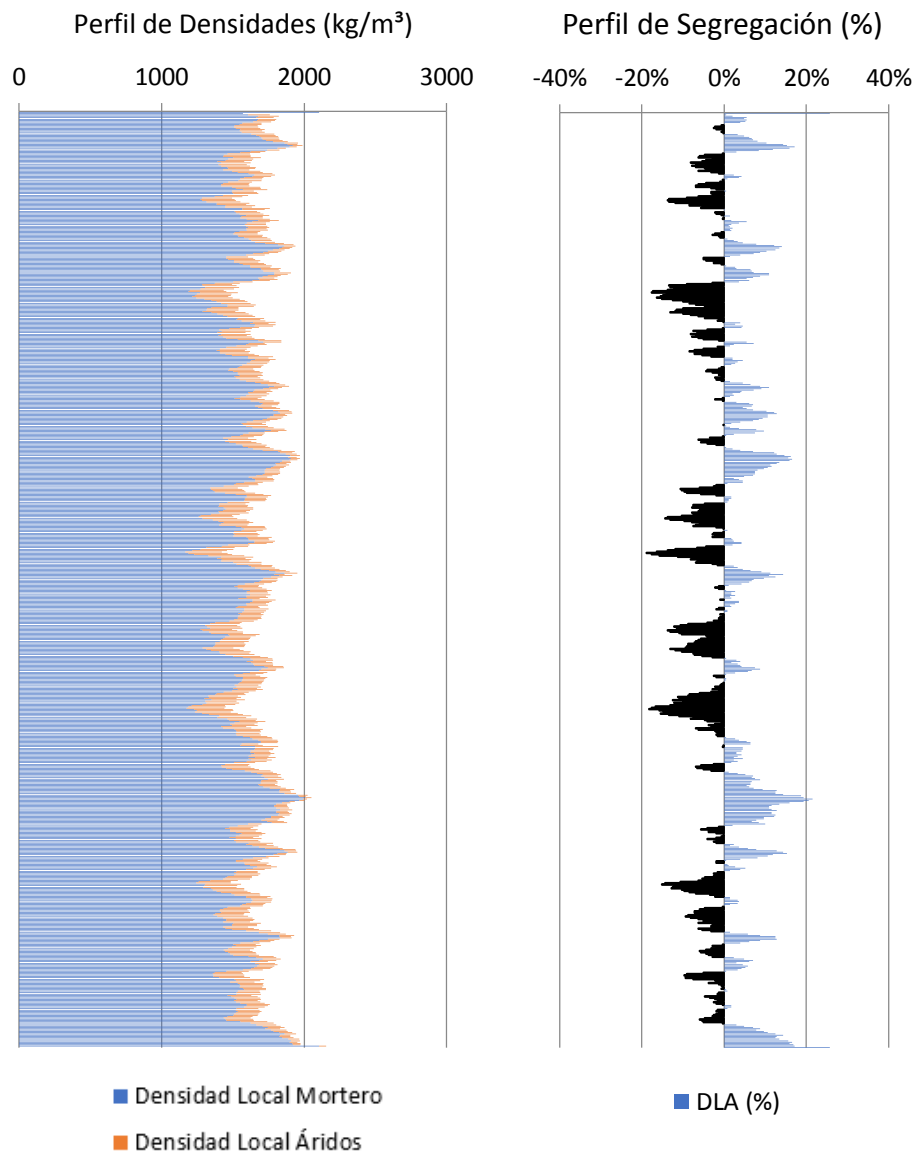
-40% -20% 0% 20% 40%



■ DLA (%)

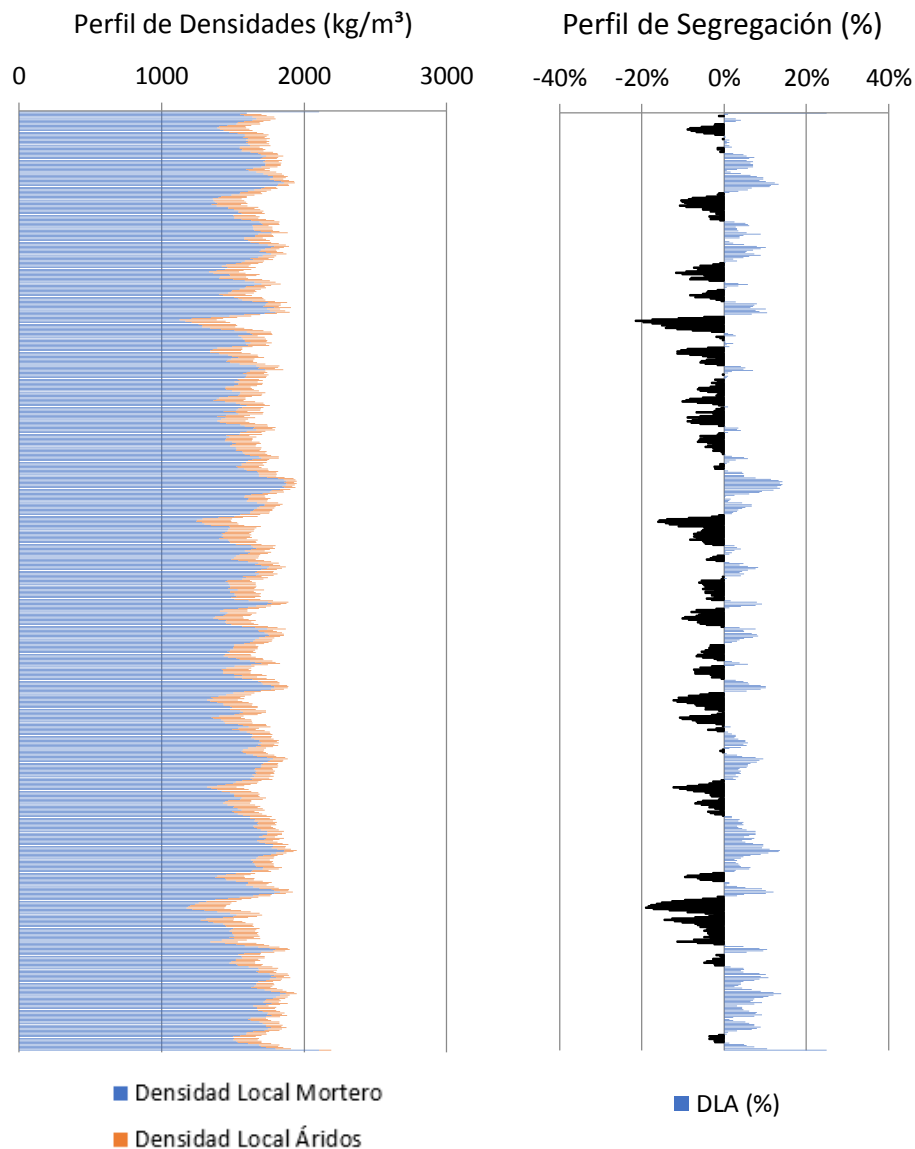
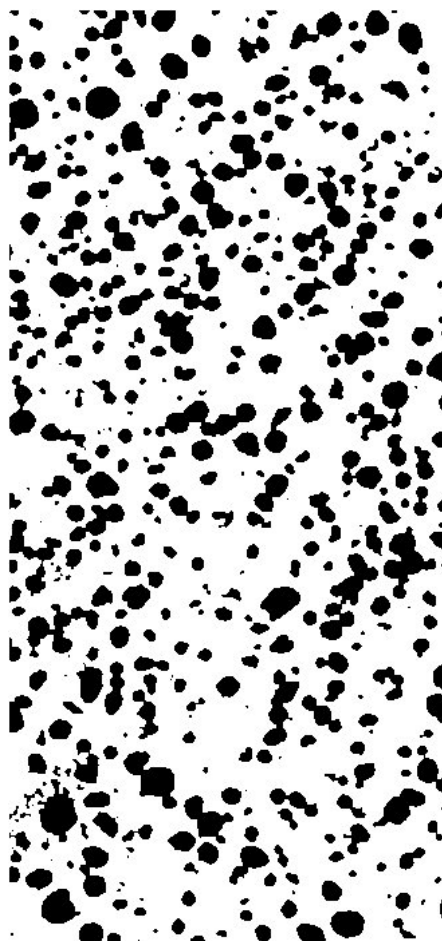
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900VOC90A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	26%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	19717
Total de Ptos (2/3) =	21051
Total de Ptos (3/3) =	17855
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	15222
Total de Ptos (2/4) =	14200
Total de Ptos (3/4) =	14865
Total de Ptos (4/4) =	14252
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1719.572
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1704.146
D(2/4) =	1730.993
D(3/4) =	1713.524
D(4/4) =	1729.627
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.985268
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	10%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	16%



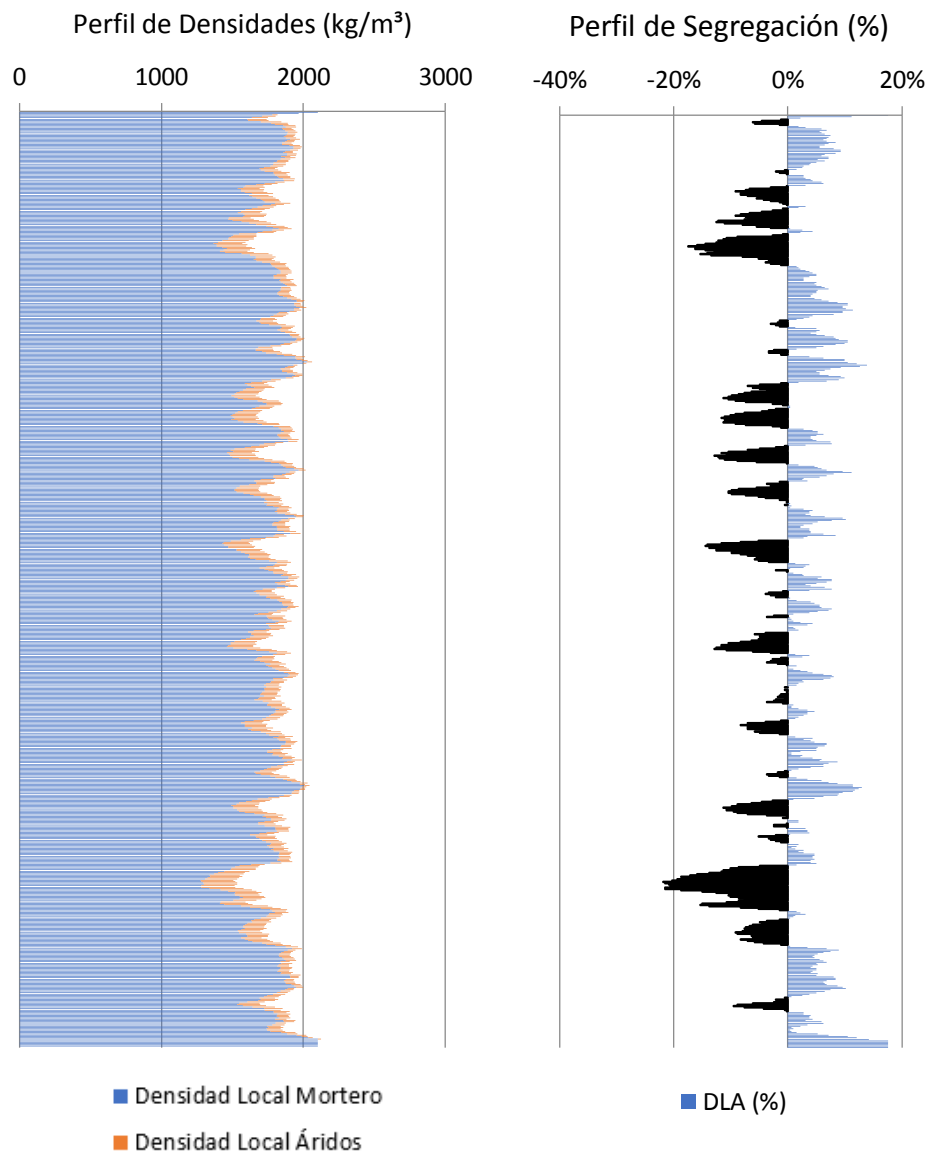
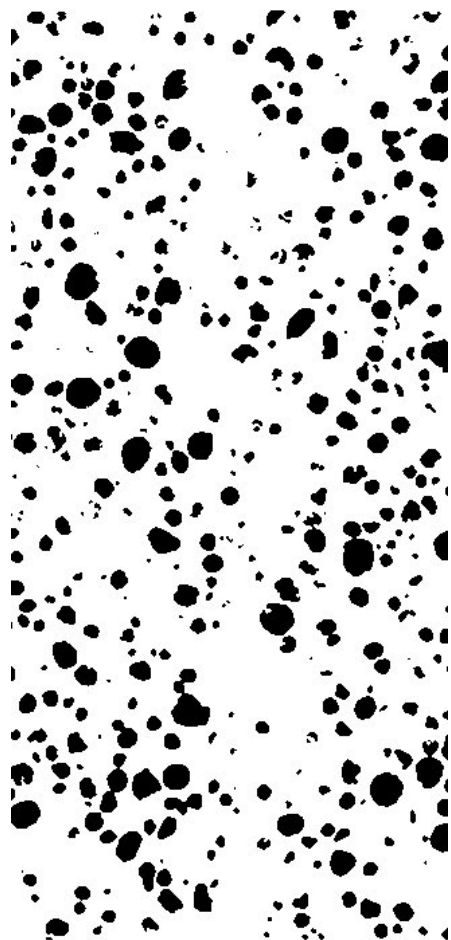
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V0C90B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	25%
CDL (%) =	5%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	19548
Total de Ptos (2/3) =	19506
Total de Ptos (3/3) =	17765
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	14072
Total de Ptos (2/4) =	14701
Total de Ptos (3/4) =	14873
Total de Ptos (4/4) =	13088
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1731.426
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1734.355
D(2/4) =	1717.832
D(3/4) =	1713.314
D(4/4) =	1760.203
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.985315
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	10%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	14%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

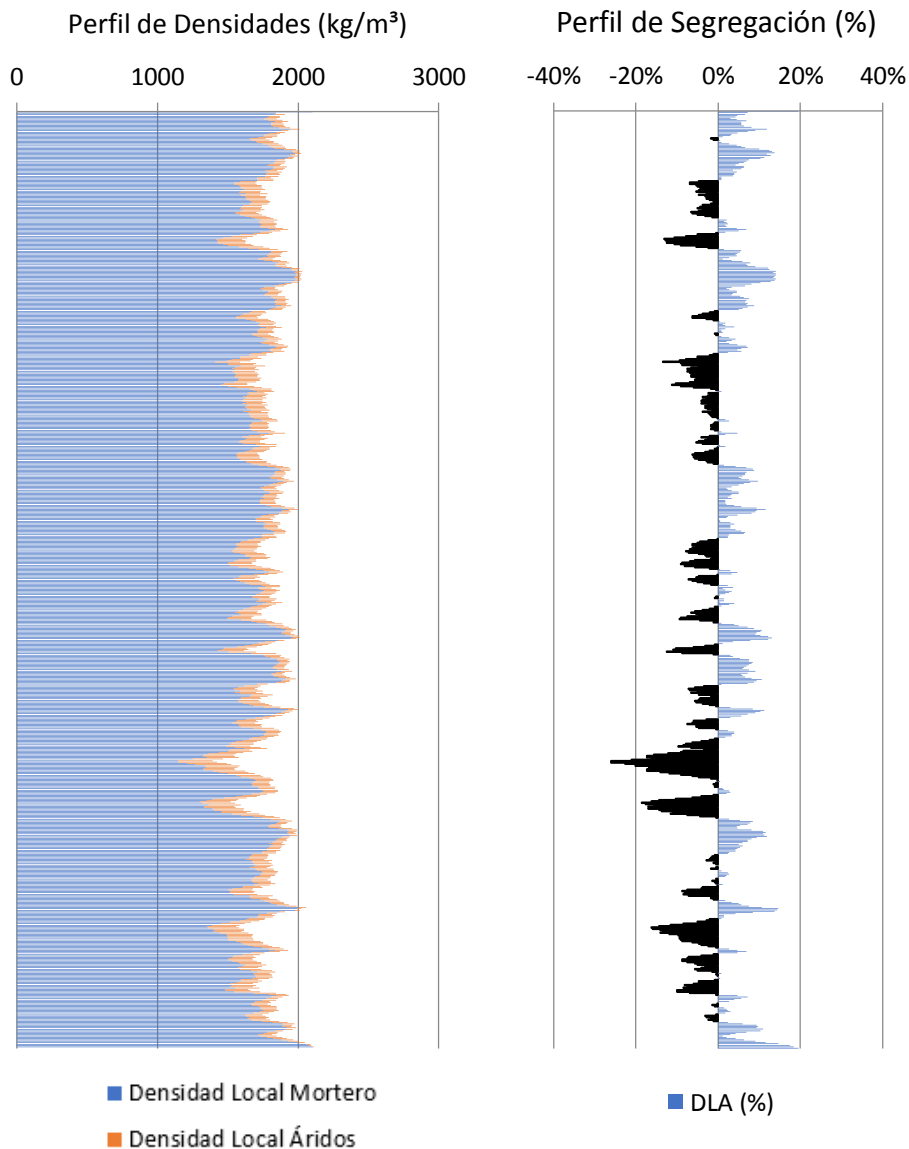
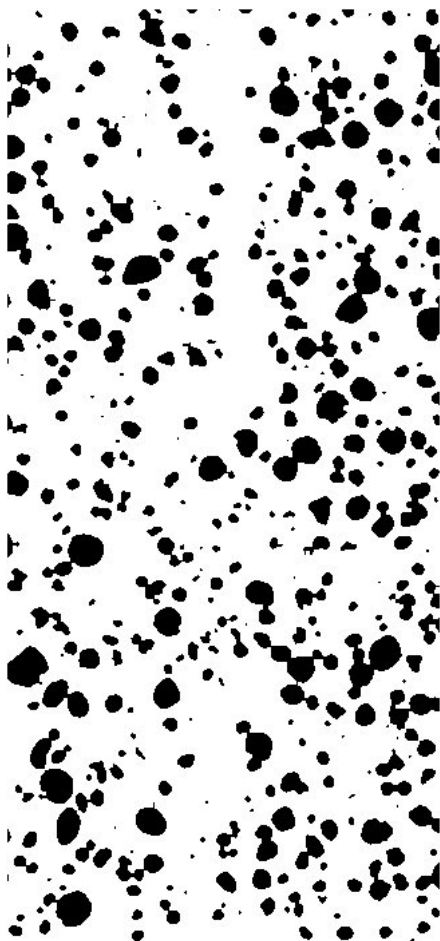
MUESTRA	
HL1900V10C15A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	18%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	13072
Total de Ptos (2/3) =	13671
Total de Ptos (3/3) =	13358
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	9473
Total de Ptos (2/4) =	10415
Total de Ptos (3/4) =	9630
Total de Ptos (4/4) =	10517
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1841.089
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1855.162
D(2/4) =	1830.417
D(3/4) =	1851.038
D(4/4) =	1827.738
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.015004
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	2%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	20%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

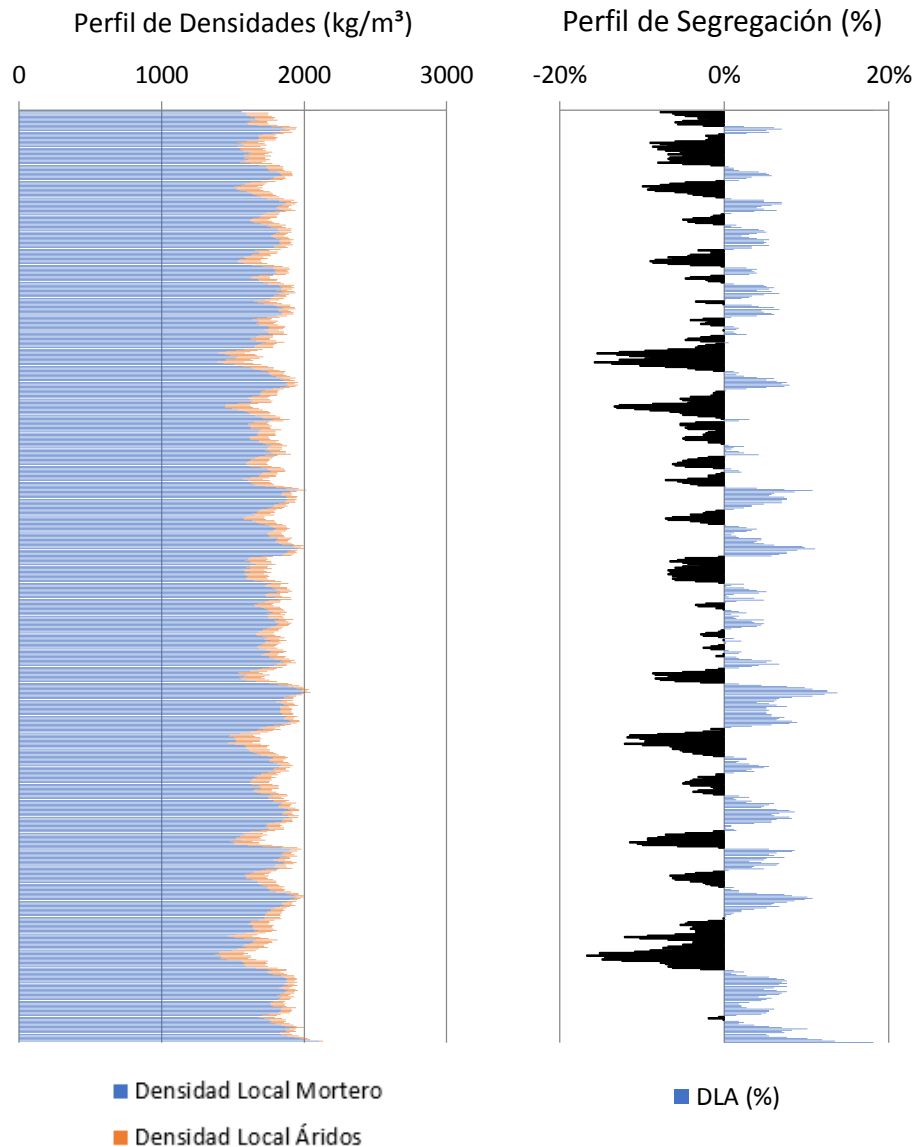
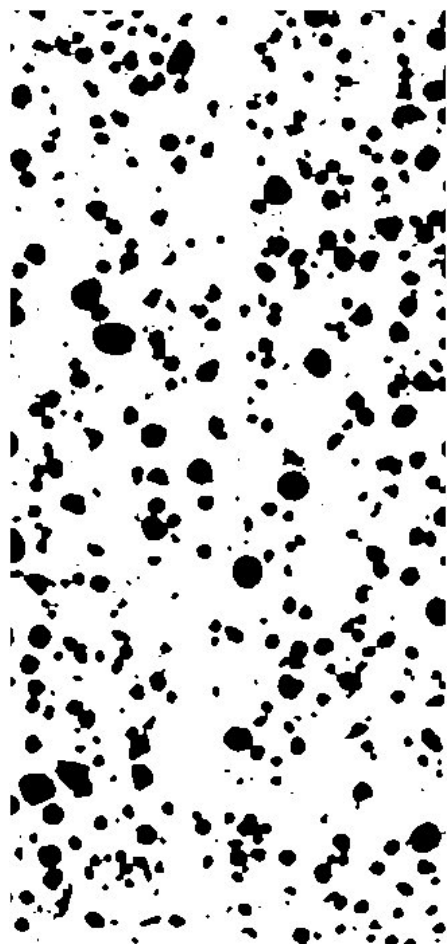


MUESTRA	
HL1900V10C15B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	20%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	13990
Total de Ptos (2/3) =	14200
Total de Ptos (3/3) =	16352
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	9590
Total de Ptos (2/4) =	11572
Total de Ptos (3/4) =	12454
Total de Ptos (4/4) =	10859
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1811.931
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1852.089
D(2/4) =	1800.025
D(3/4) =	1776.857
D(4/4) =	1818.754
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.018328
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	16%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	18%



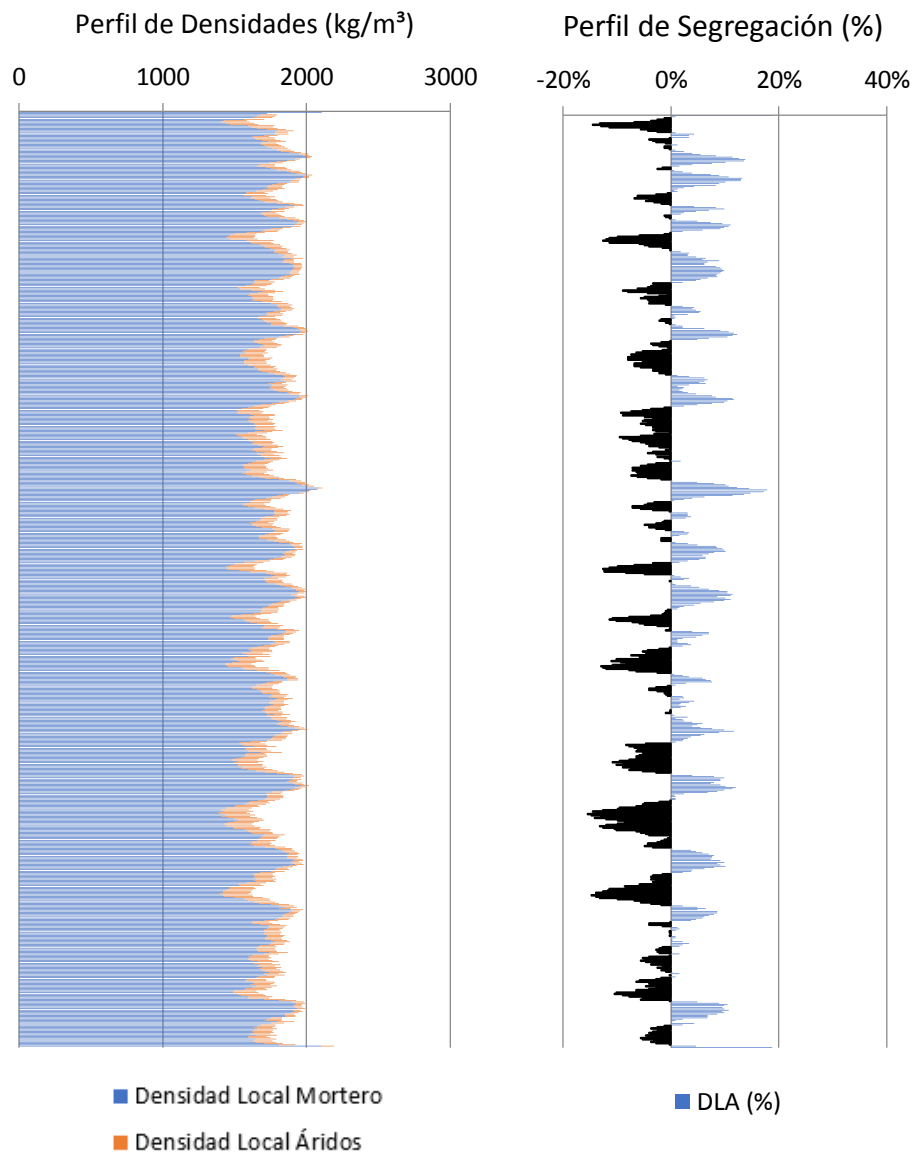
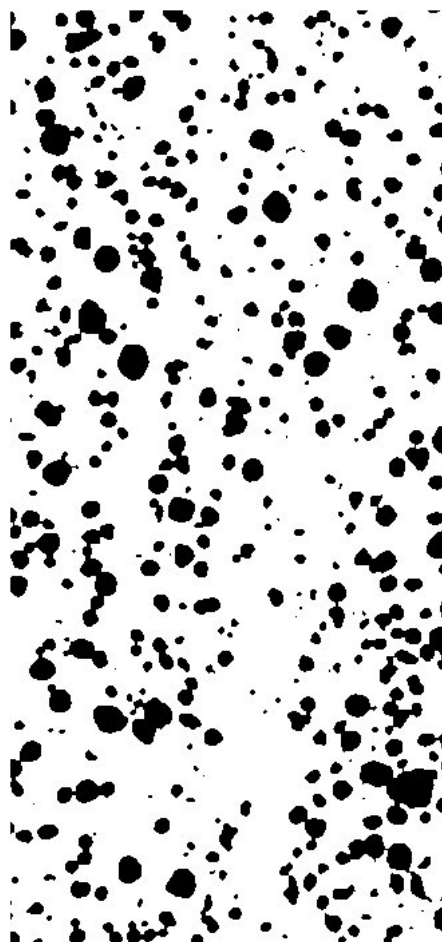
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V10C30A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	18%
CDL (%) =	5%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	14689
Total de Ptos (2/3) =	13019
Total de Ptos (3/3) =	13525
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	10492
Total de Ptos (2/4) =	11063
Total de Ptos (3/4) =	9829
Total de Ptos (4/4) =	9796
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1833.57
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1828.395
D(2/4) =	1813.396
D(3/4) =	1845.811
D(4/4) =	1846.677
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.9901
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	8%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	16%



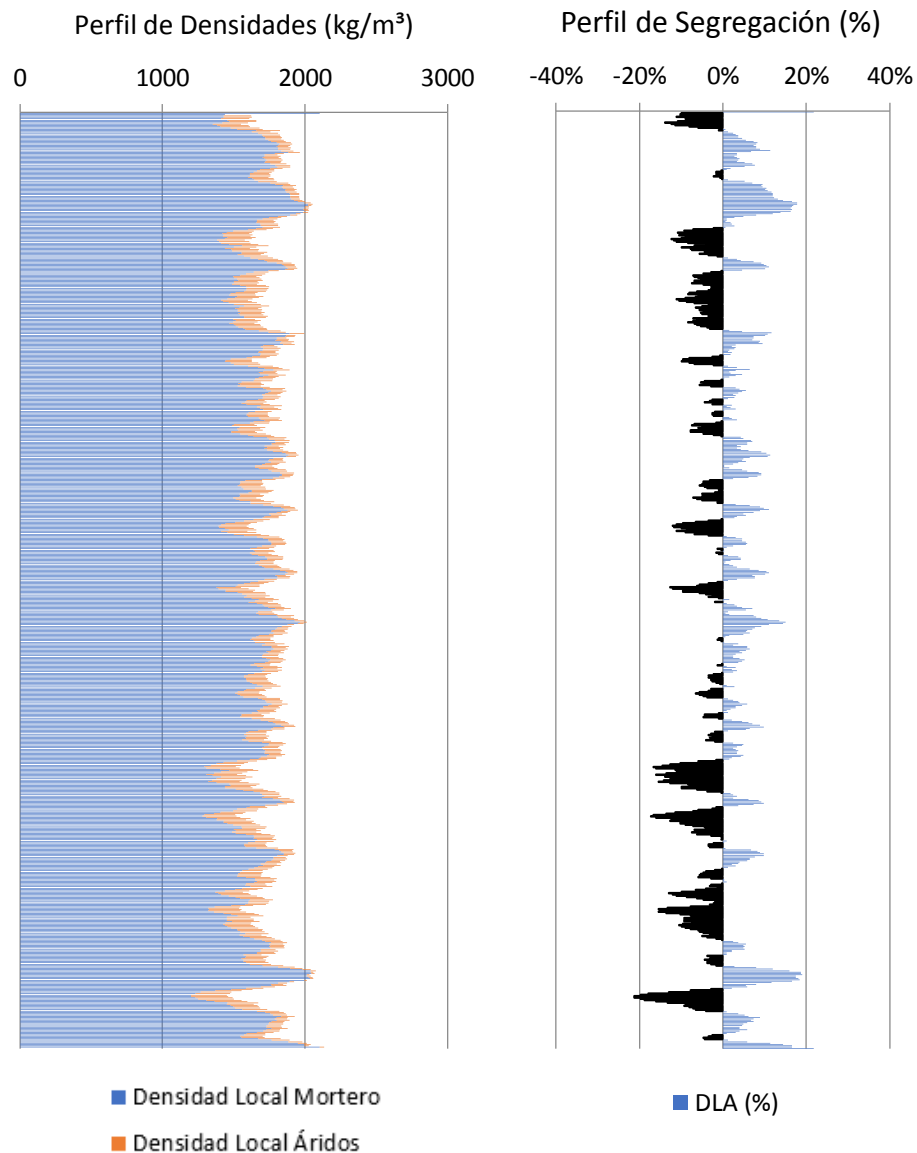
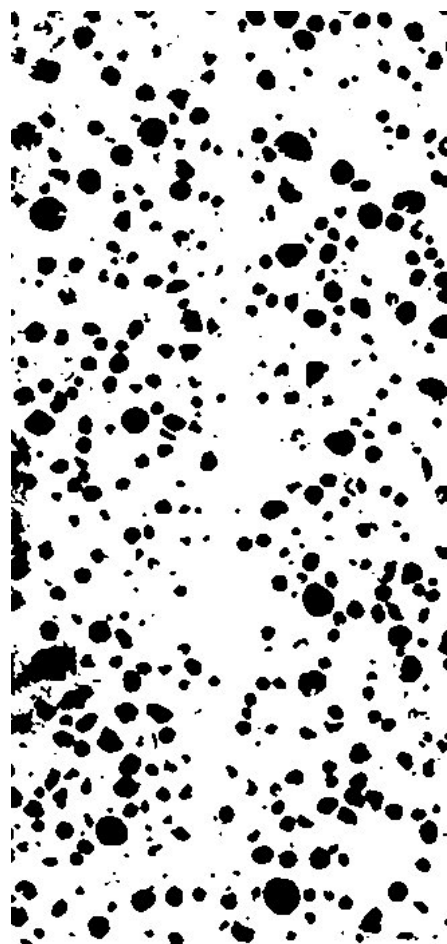
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V10C30B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	19%
CDL (%) =	5%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	13391
Total de Ptos (2/3) =	14052
Total de Ptos (3/3) =	15262
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	9630
Total de Ptos (2/4) =	10905
Total de Ptos (3/4) =	10740
Total de Ptos (4/4) =	11358
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1824.028
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1851.038
D(2/4) =	1817.546
D(3/4) =	1821.88
D(4/4) =	1805.647
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.025139
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	13%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	17%



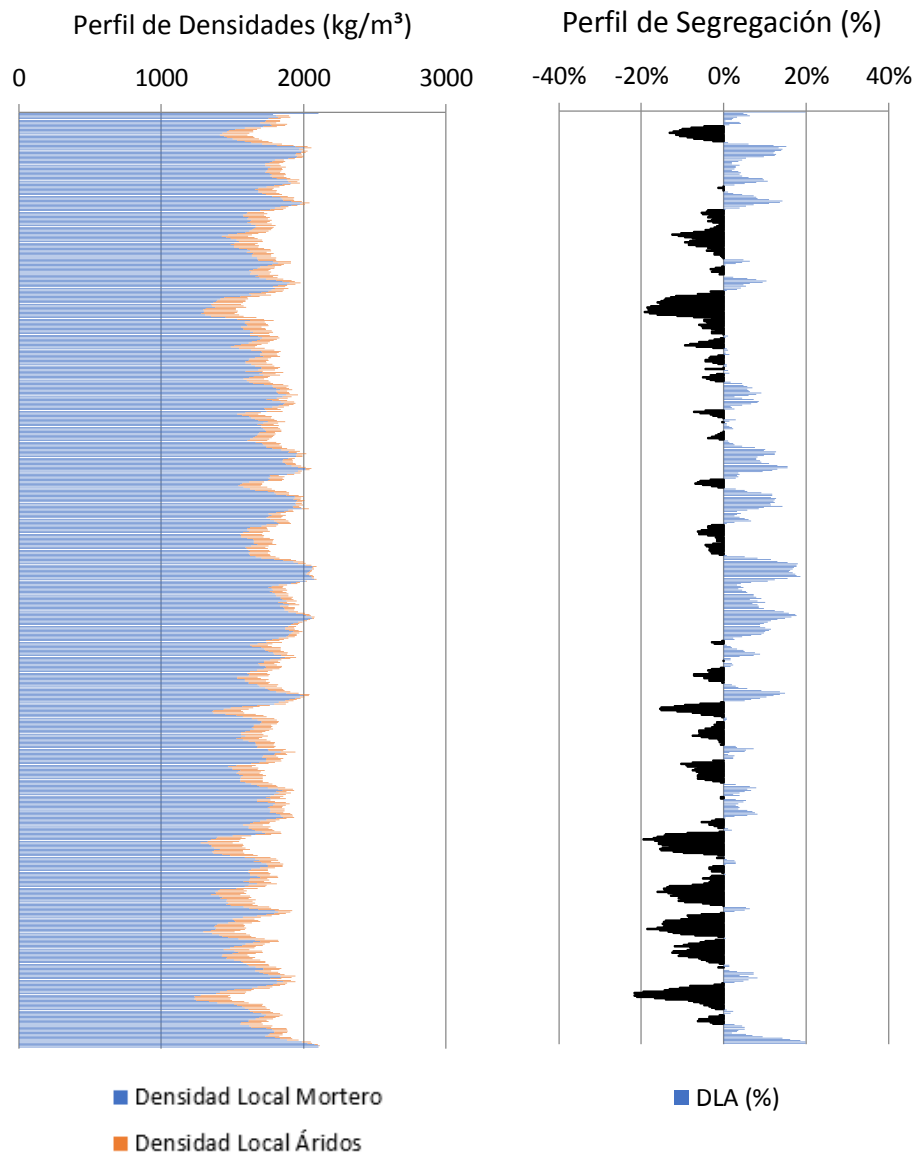
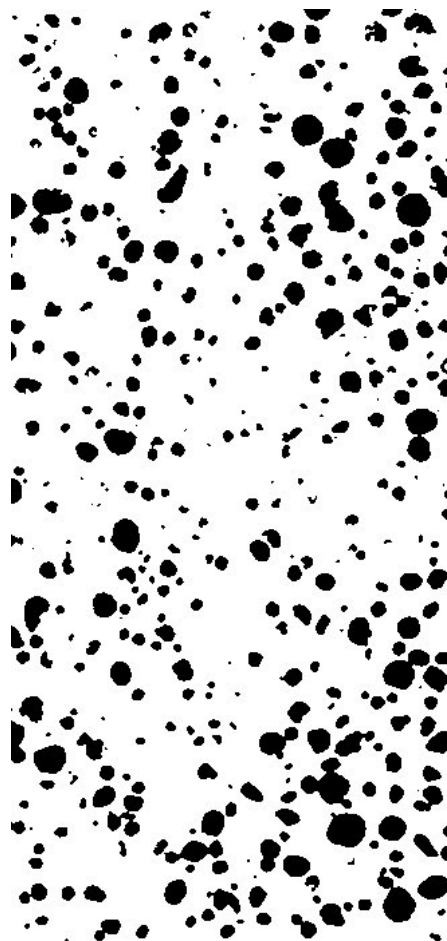
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V10C60A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	22%
CDL (%) =	6%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	16212
Total de Ptos (2/3) =	15539
Total de Ptos (3/3) =	18022
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	11983
Total de Ptos (2/4) =	11937
Total de Ptos (3/4) =	12563
Total de Ptos (4/4) =	13197
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1777.75
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1789.229
D(2/4) =	1790.437
D(3/4) =	1773.993
D(4/4) =	1757.339
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	1.018146
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	11%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	18%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

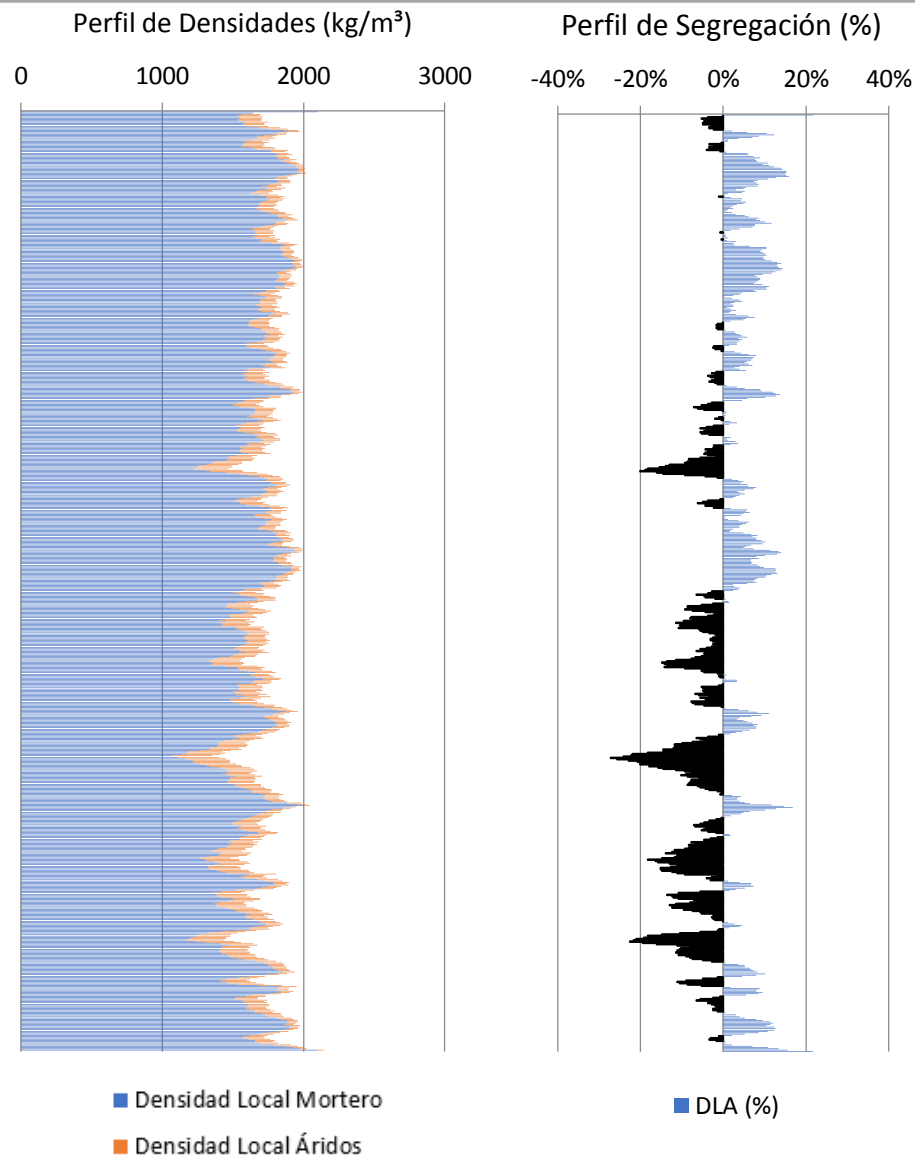
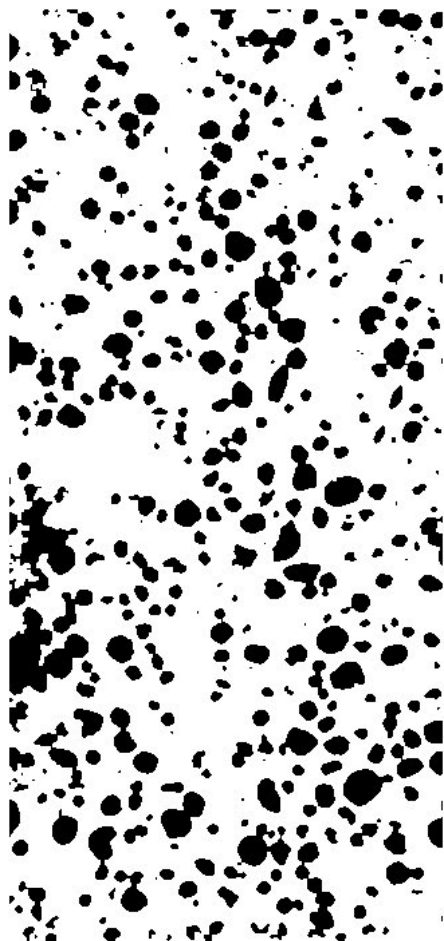
MUESTRA	
HL1900V10C60B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	20%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	15517
Total de Ptos (2/3) =	11908
Total de Ptos (3/3) =	17749
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	11830
Total de Ptos (2/4) =	9311
Total de Ptos (3/4) =	10018
Total de Ptos (4/4) =	13949
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1807.774
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1793.248
D(2/4) =	1859.417
D(3/4) =	1840.846
D(4/4) =	1737.586
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.032034
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	13%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	20%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

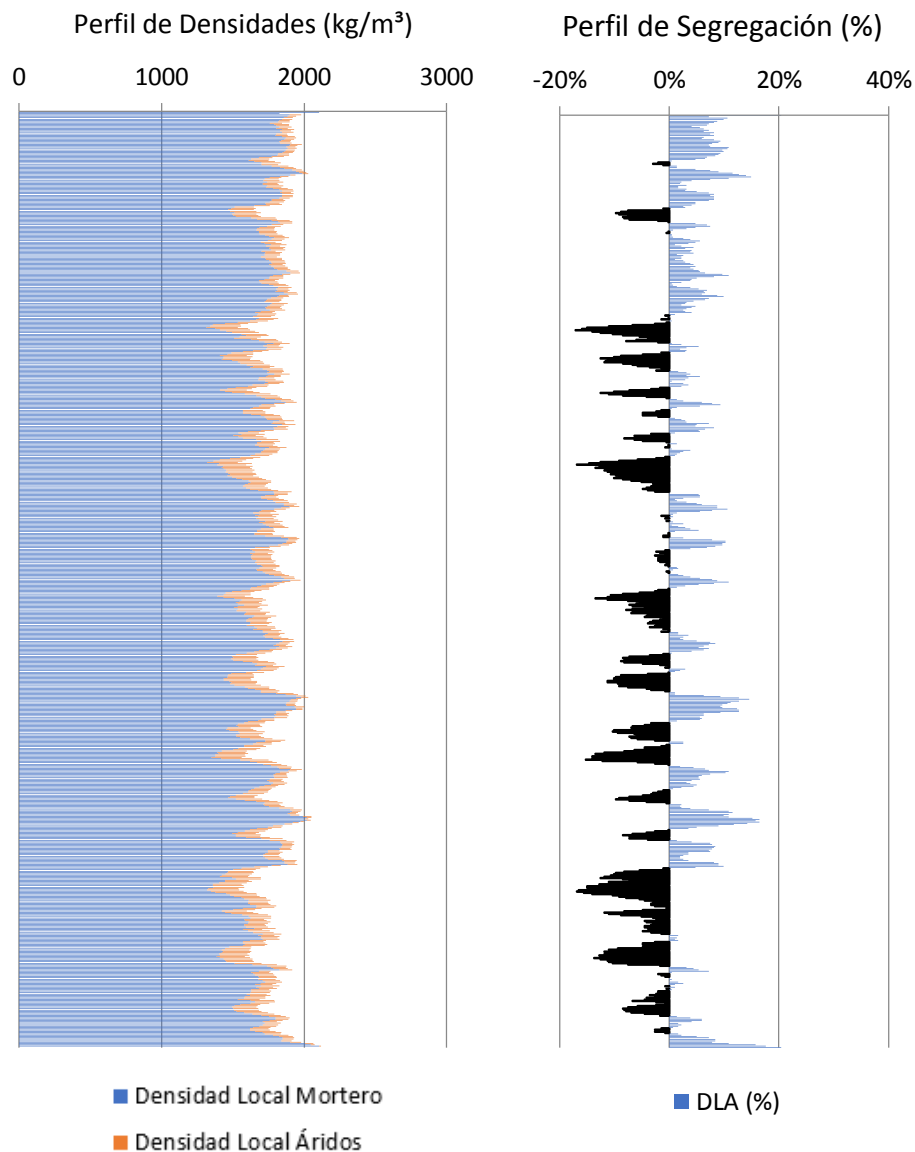
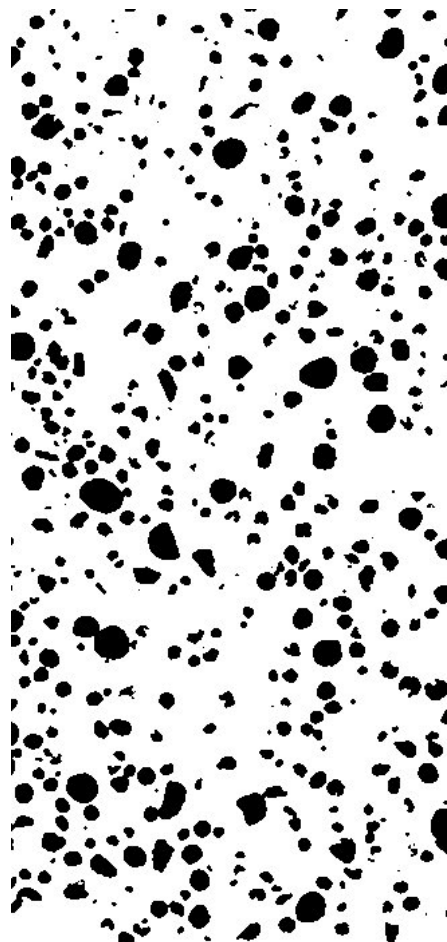


MUESTRA	
HL1900V10C90A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	22%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	13248
Total de Ptos (2/3) =	16880
Total de Ptos (3/3) =	19529
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	9473
Total de Ptos (2/4) =	11275
Total de Ptos (3/4) =	14642
Total de Ptos (4/4) =	14183
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1778.452
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1855.162
D(2/4) =	1807.827
D(3/4) =	1719.382
D(4/4) =	1731.439
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.071457
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	38%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	19%



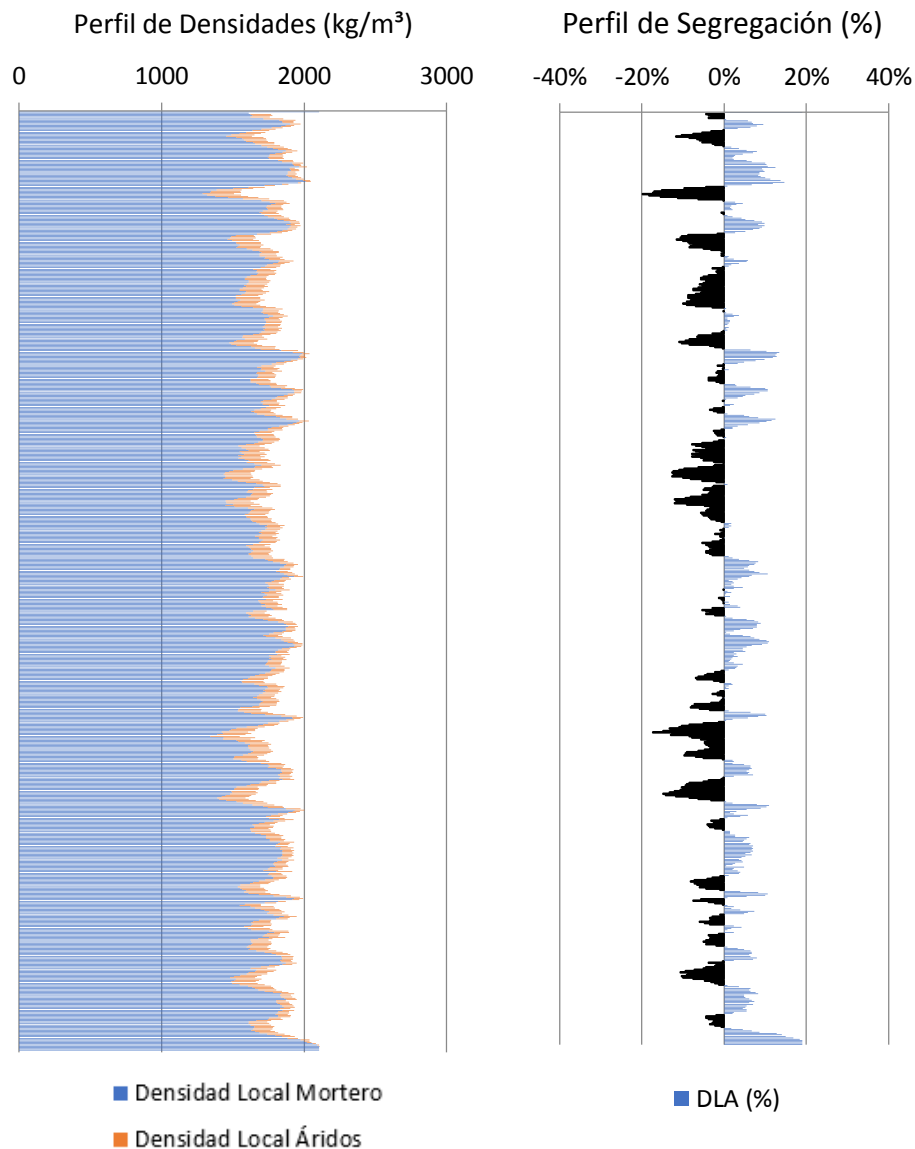
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V10C90B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	20%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	14020
Total de Ptos (2/3) =	16010
Total de Ptos (3/3) =	16472
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	9850
Total de Ptos (2/4) =	11992
Total de Ptos (3/4) =	12133
Total de Ptos (4/4) =	12476
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1798.955
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1845.259
D(2/4) =	1788.993
D(3/4) =	1785.289
D(4/4) =	1776.279
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.038834
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	16%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	17%



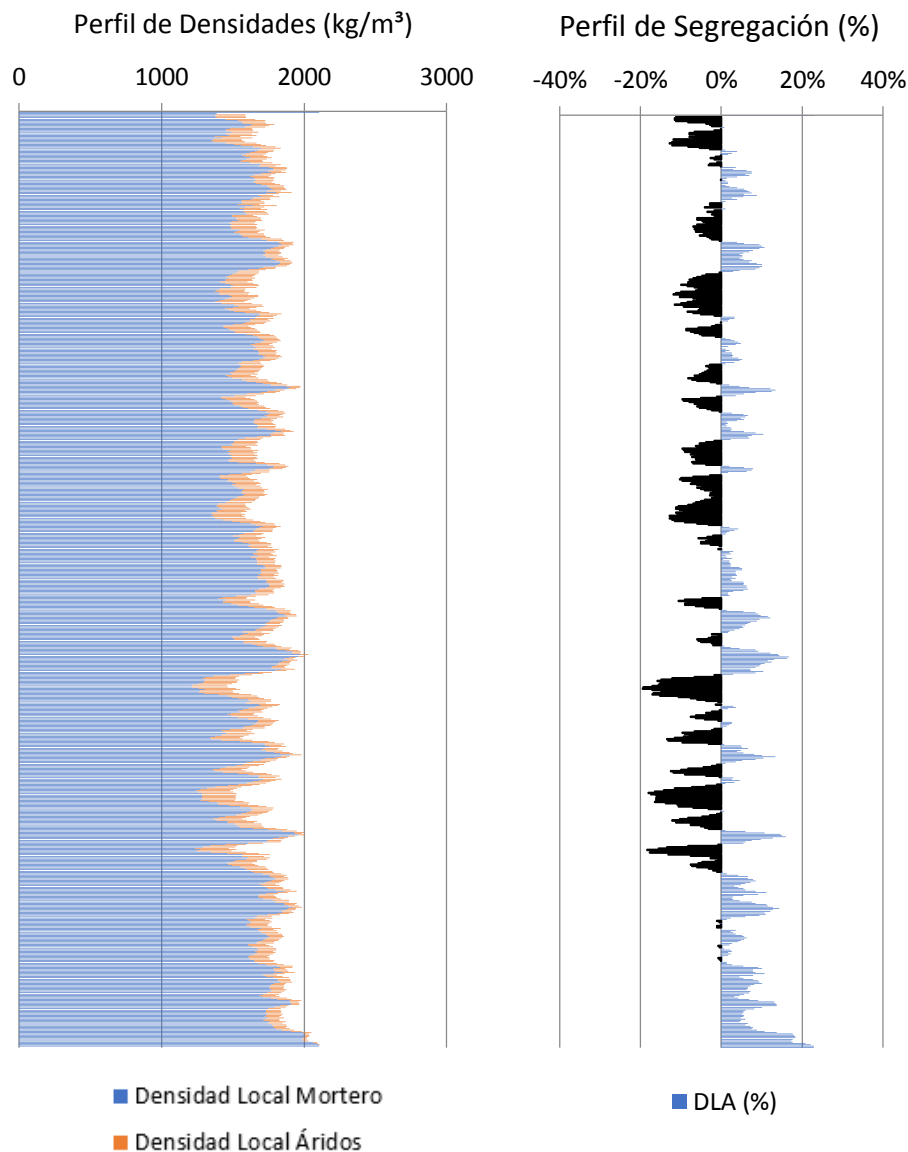
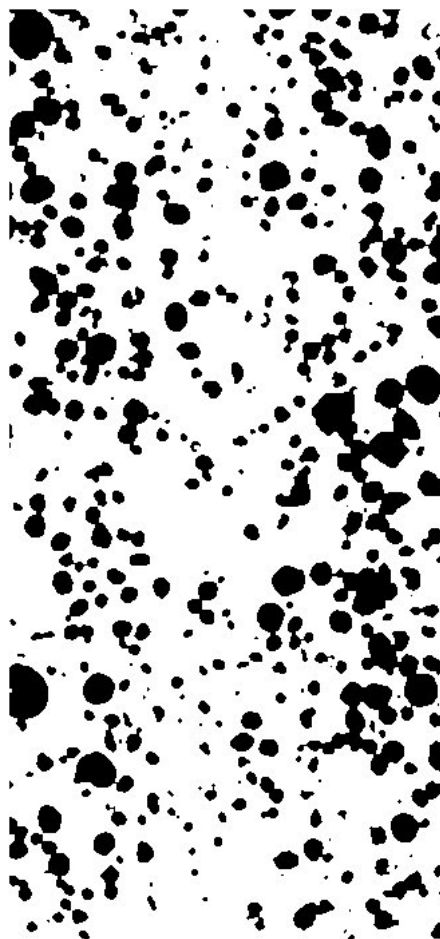
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V20C15A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	19%
CDL (%) =	5%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	14182
Total de Ptos (2/3) =	15145
Total de Ptos (3/3) =	13912
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	11209
Total de Ptos (2/4) =	11103
Total de Ptos (3/4) =	11056
Total de Ptos (4/4) =	9837
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1820.271
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1809.561
D(2/4) =	1812.345
D(3/4) =	1813.58
D(4/4) =	1845.6
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.980473
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	2%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	17%



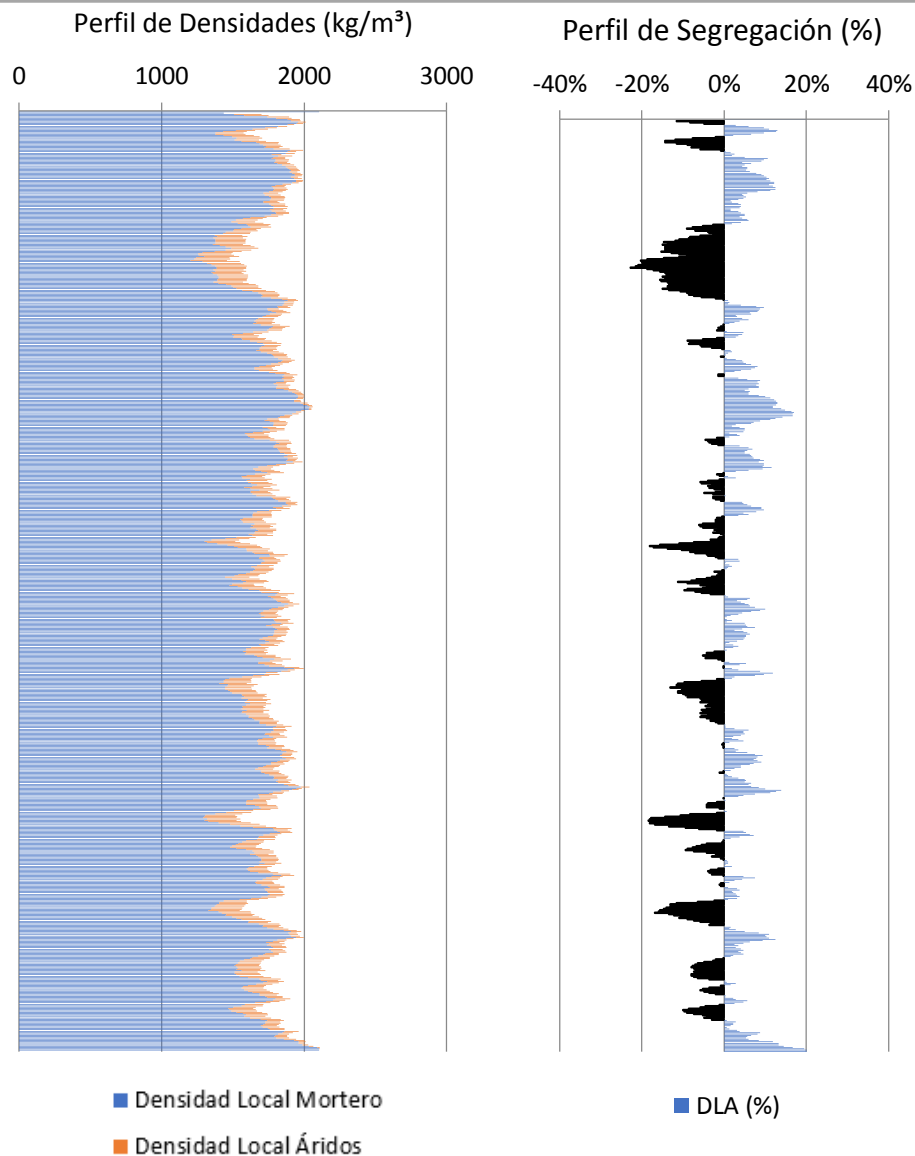
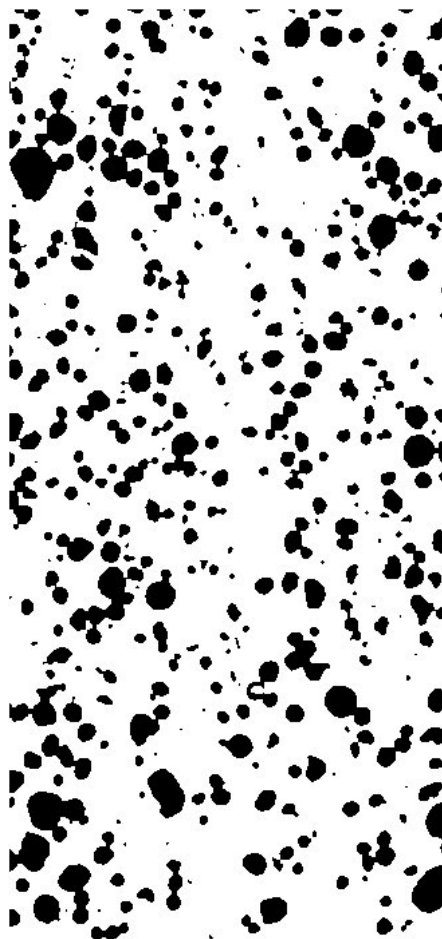
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V20C15B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	23%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	18247
Total de Ptos (2/3) =	18441
Total de Ptos (3/3) =	15591
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	13887
Total de Ptos (2/4) =	13875
Total de Ptos (3/4) =	13962
Total de Ptos (4/4) =	10485
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1761.142
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1739.214
D(2/4) =	1739.53
D(3/4) =	1737.244
D(4/4) =	1828.579
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.951129
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	16%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	18%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

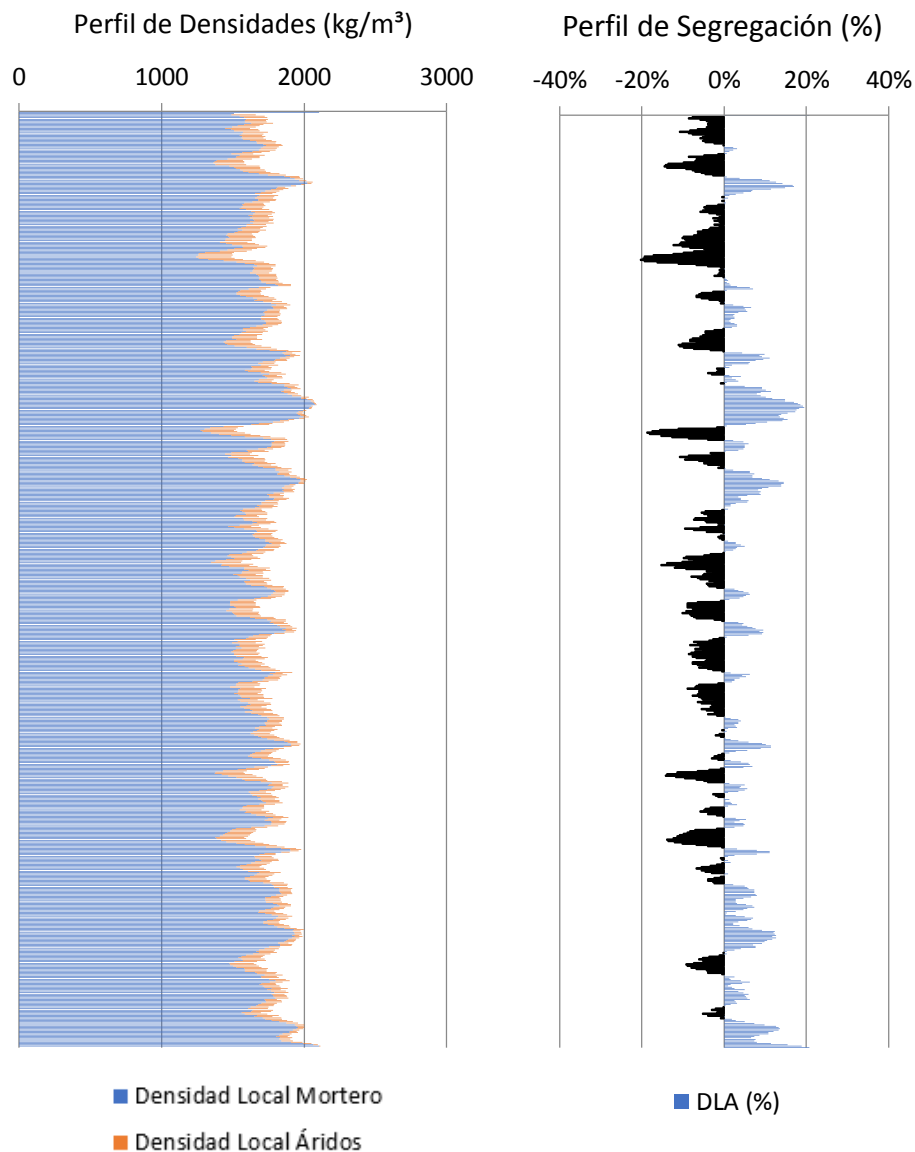
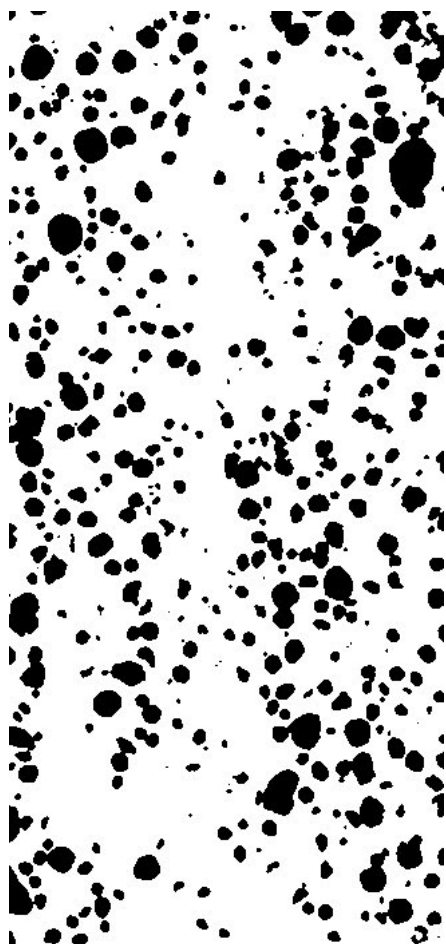
MUESTRA	
HL1900V20C30A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	20%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	14950
Total de Ptos (2/3) =	15508
Total de Ptos (3/3) =	15311
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	12498
Total de Ptos (2/4) =	10174
Total de Ptos (3/4) =	11075
Total de Ptos (4/4) =	11973
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1803.755
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1775.701
D(2/4) =	1836.748
D(3/4) =	1813.08
D(4/4) =	1789.492
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.992293
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	2%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	19%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

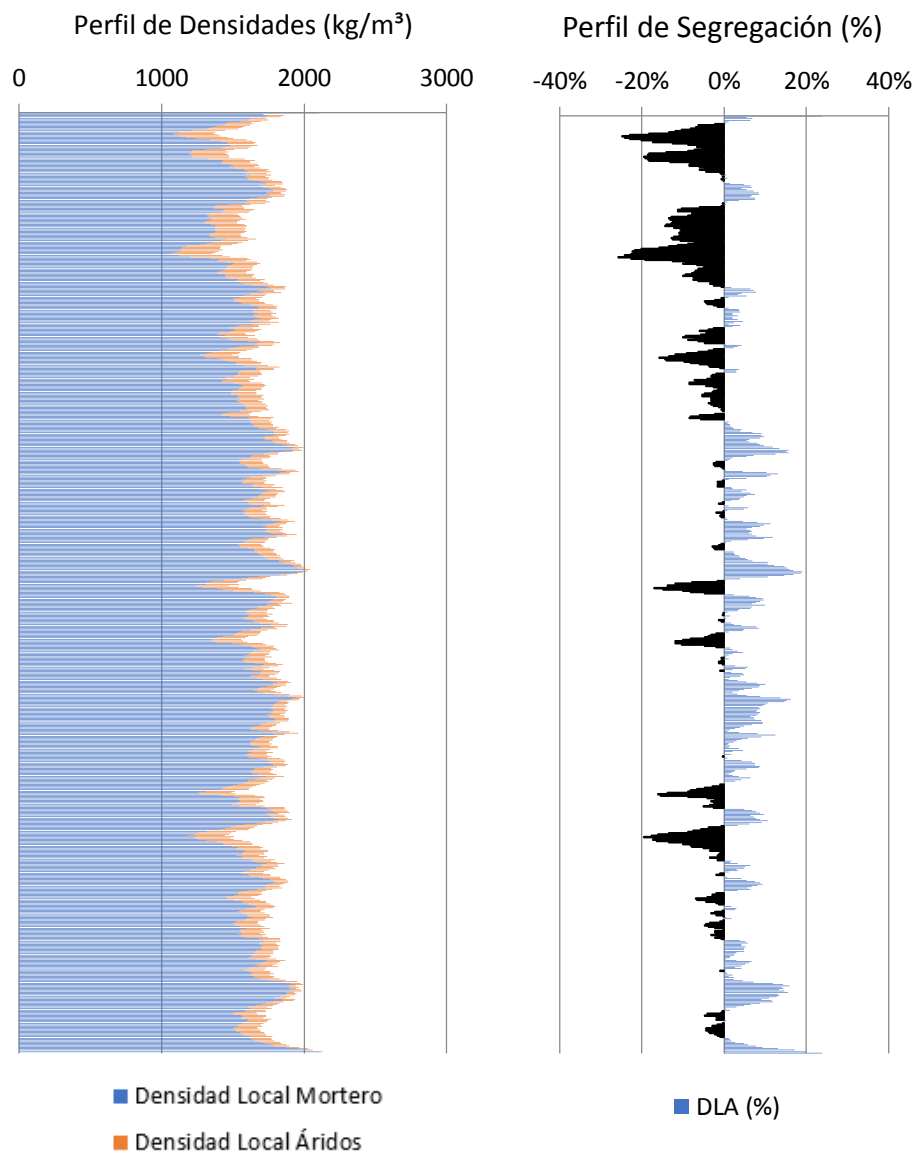
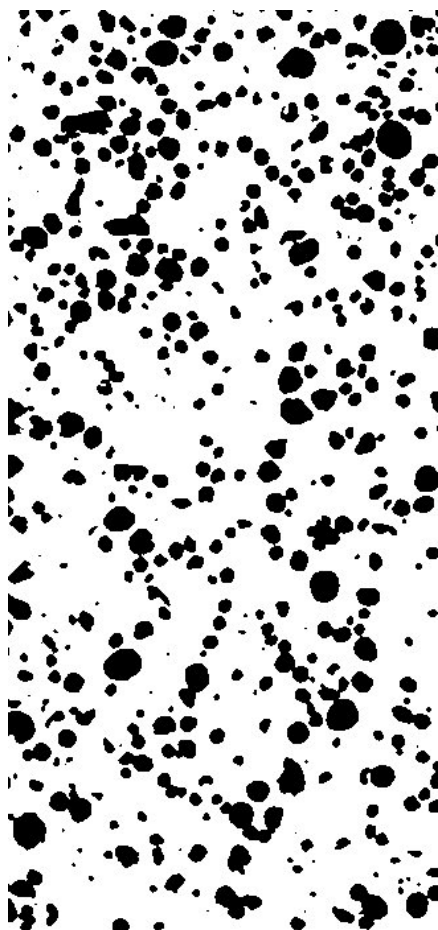


MUESTRA	
HL1900V20C30B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	21%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	15855
Total de Ptos (2/3) =	16960
Total de Ptos (3/3) =	14232
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	13385
Total de Ptos (2/4) =	10756
Total de Ptos (3/4) =	12467
Total de Ptos (4/4) =	10374
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1795.468
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1752.401
D(2/4) =	1821.46
D(3/4) =	1776.515
D(4/4) =	1831.494
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.956815
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	11%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	18%



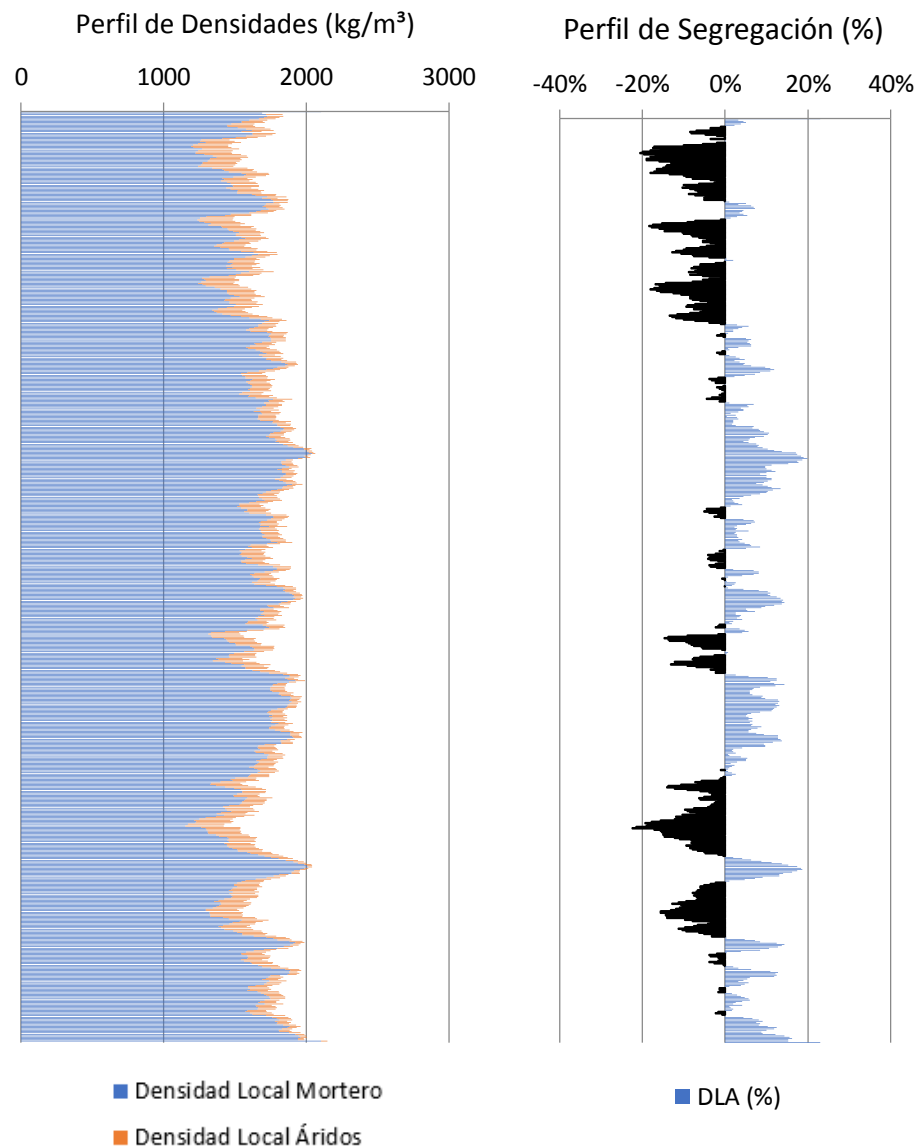
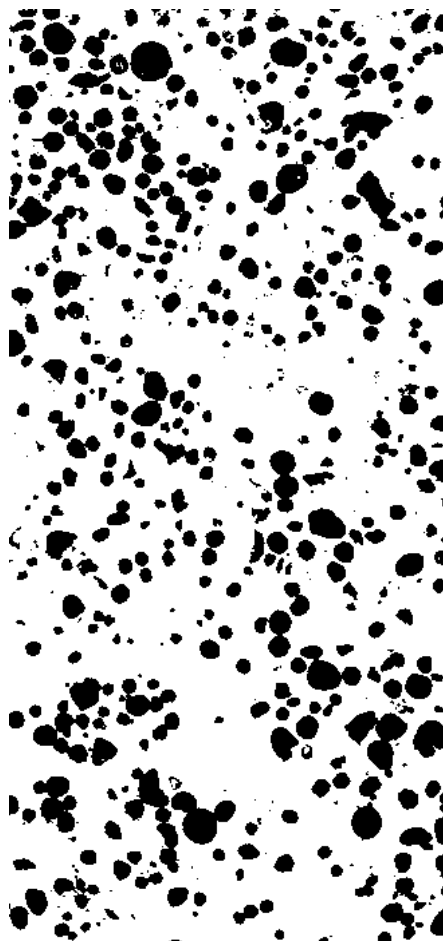
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V20C60A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	24%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	22202
Total de Ptos (2/3) =	15078
Total de Ptos (3/3) =	17121
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	16865
Total de Ptos (2/4) =	12421
Total de Ptos (3/4) =	12285
Total de Ptos (4/4) =	12760
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1747.207
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1660.988
D(2/4) =	1777.724
D(3/4) =	1781.296
D(4/4) =	1768.819
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.939038
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	26%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	17%



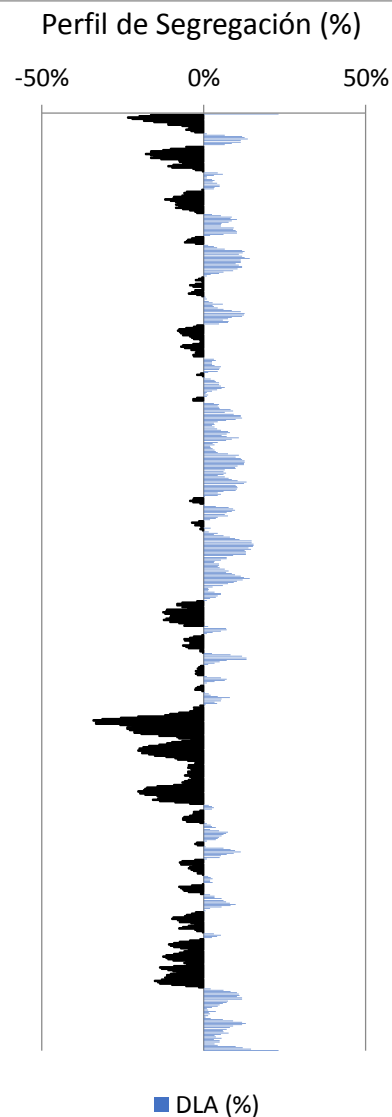
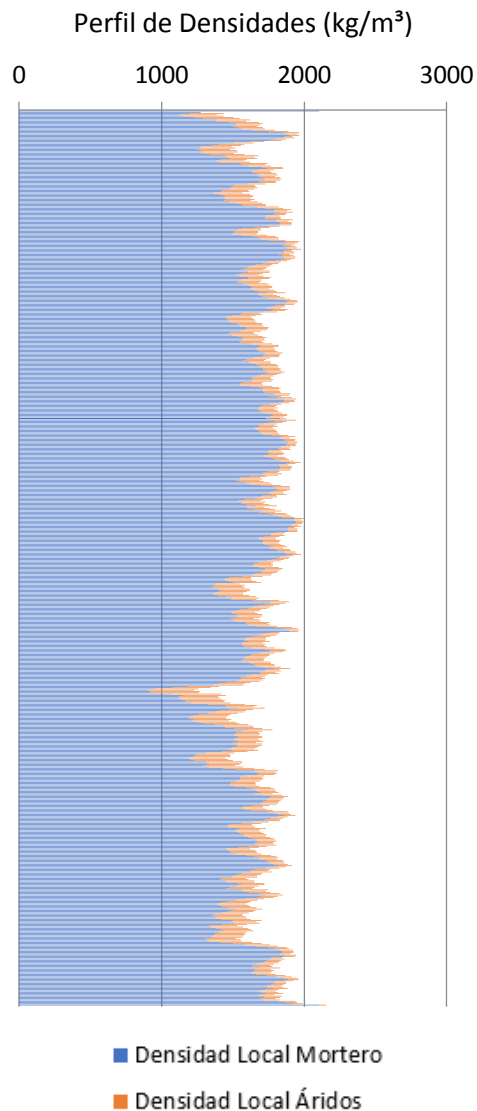
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V20C60B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	23%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	20563
Total de Ptos (2/3) =	13887
Total de Ptos (3/3) =	17691
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	16584
Total de Ptos (2/4) =	10470
Total de Ptos (3/4) =	11679
Total de Ptos (4/4) =	13356
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1761.93
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1668.369
D(2/4) =	1828.973
D(3/4) =	1797.214
D(4/4) =	1753.163
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.951634
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	15%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	20%



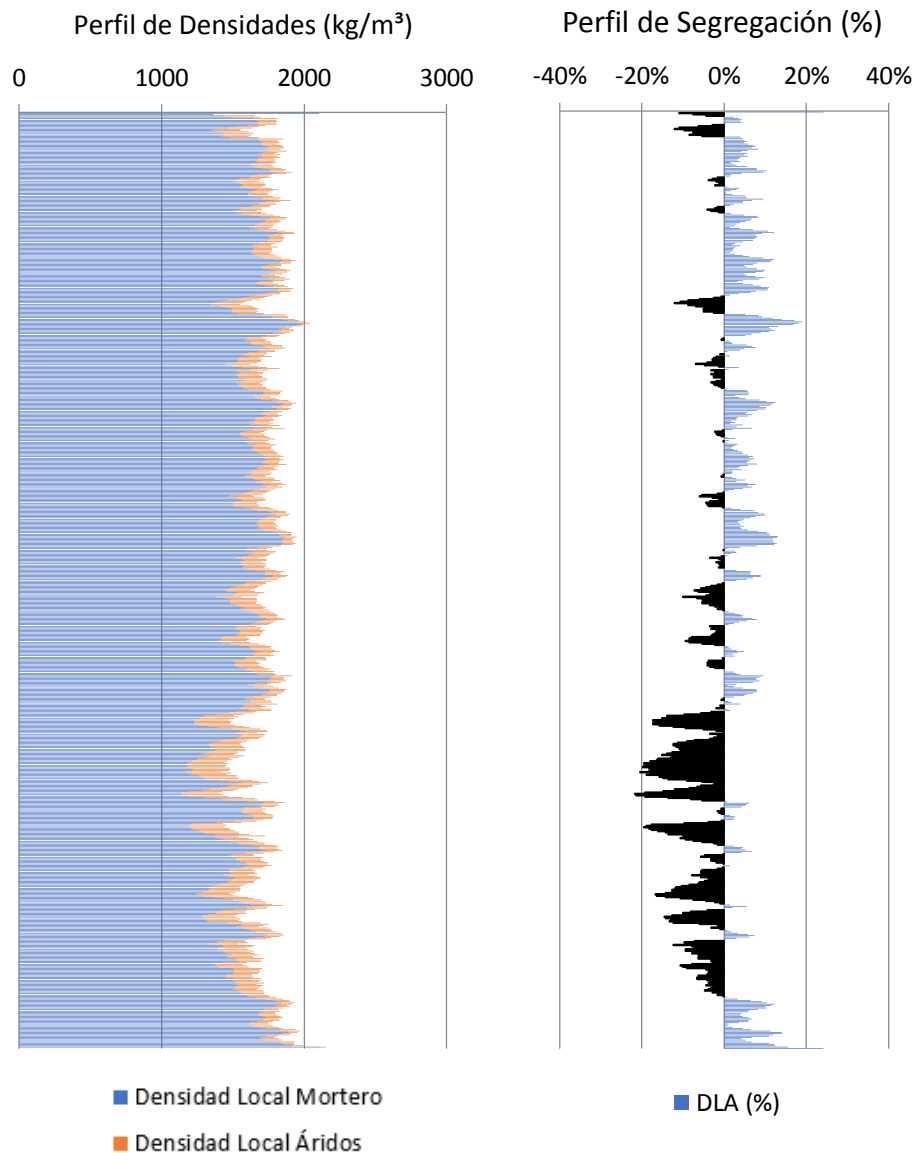
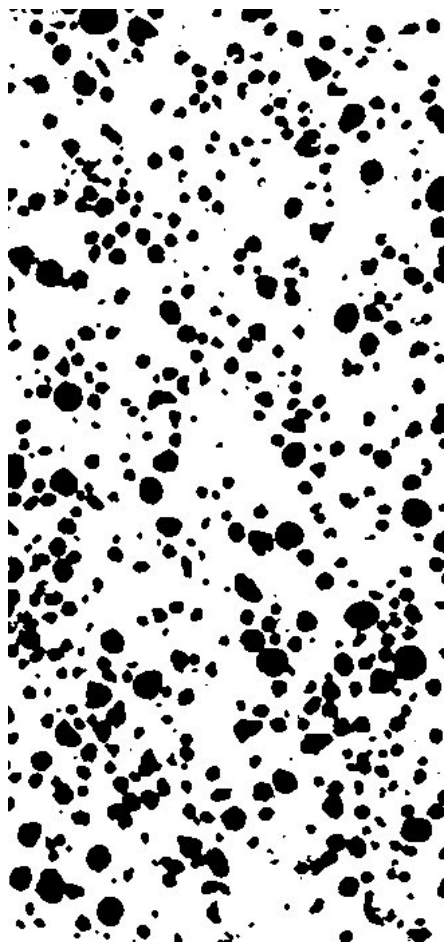
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V20C90A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	23%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	17037
Total de Ptos (2/3) =	16523
Total de Ptos (3/3) =	19236
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	13155
Total de Ptos (2/4) =	10024
Total de Ptos (3/4) =	16377
Total de Ptos (4/4) =	13173
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1757.727
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1758.443
D(2/4) =	1840.688
D(3/4) =	1673.807
D(4/4) =	1757.97
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.000269
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	12%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	19%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

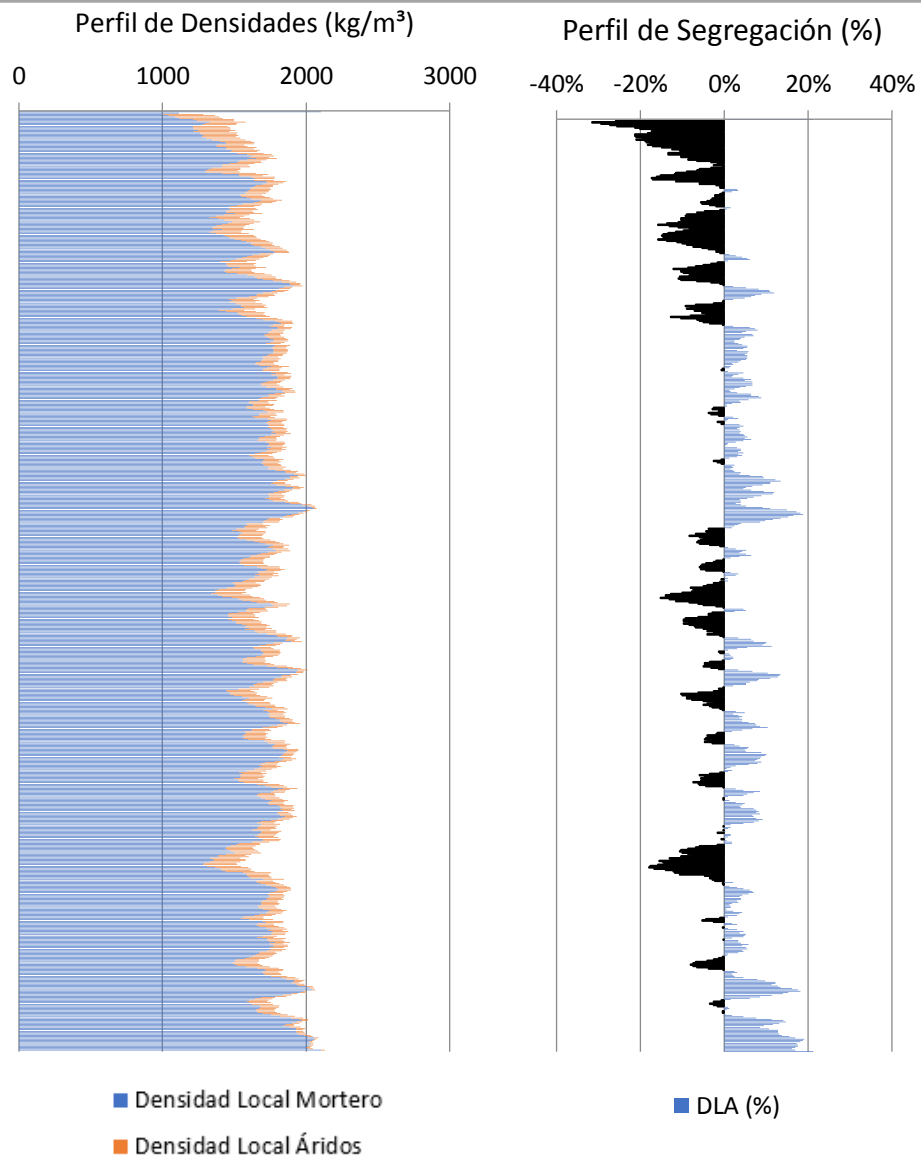
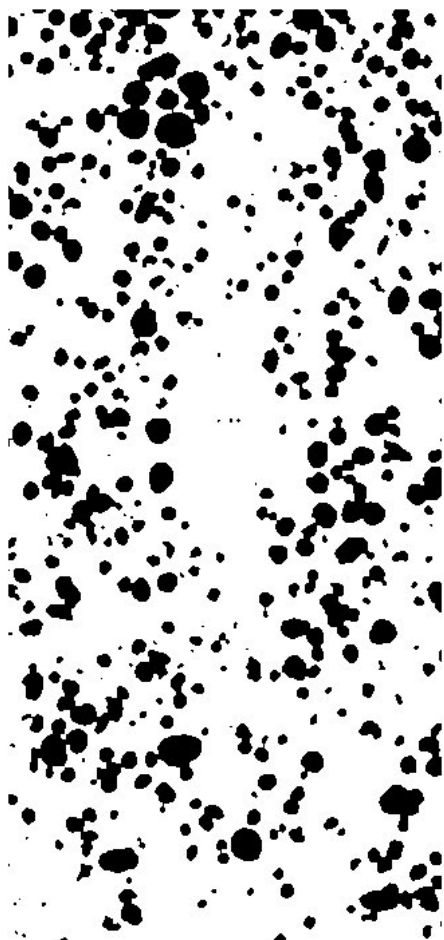
MUESTRA	
HL1900V20C90B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	24%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	15854
Total de Ptos (2/3) =	17660
Total de Ptos (3/3) =	21663
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	11660
Total de Ptos (2/4) =	12000
Total de Ptos (3/4) =	16327
Total de Ptos (4/4) =	15116
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1742.137
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1797.714
D(2/4) =	1788.782
D(3/4) =	1675.12
D(4/4) =	1706.931
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.053185
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	31%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	16%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

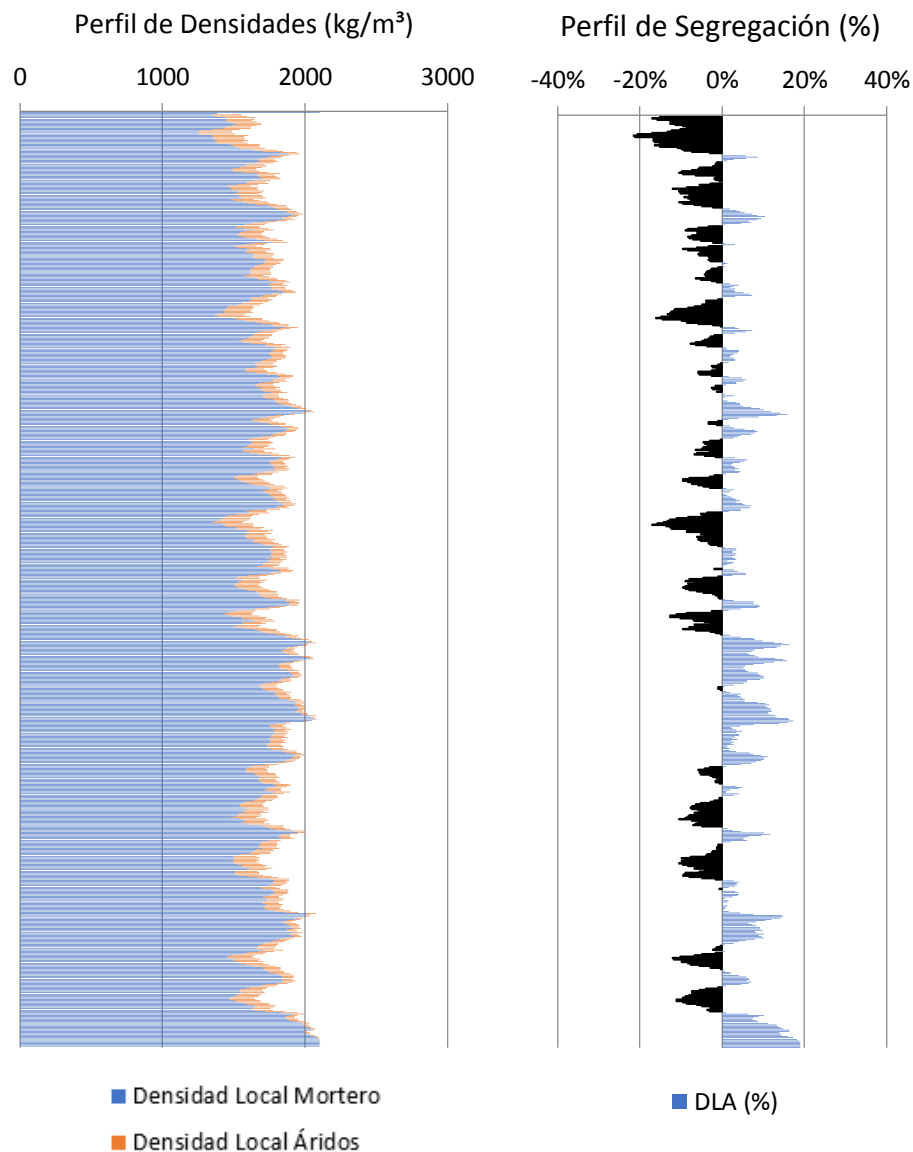
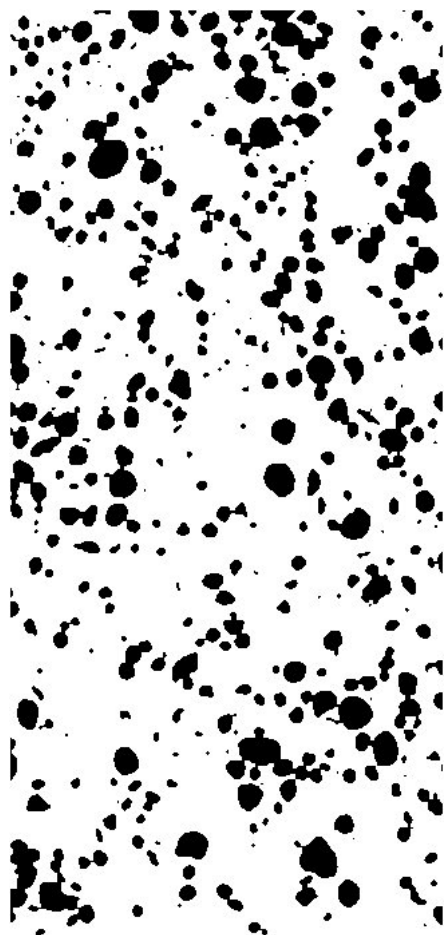


MUESTRA	
HL1900V40C15A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	21%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	18957
Total de Ptos (2/3) =	15223
Total de Ptos (3/3) =	14073
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	15428
Total de Ptos (2/4) =	10293
Total de Ptos (3/4) =	11839
Total de Ptos (4/4) =	10636
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1787.495
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1698.735
D(2/4) =	1833.622
D(3/4) =	1793.012
D(4/4) =	1824.612
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.931012
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	30%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	19%



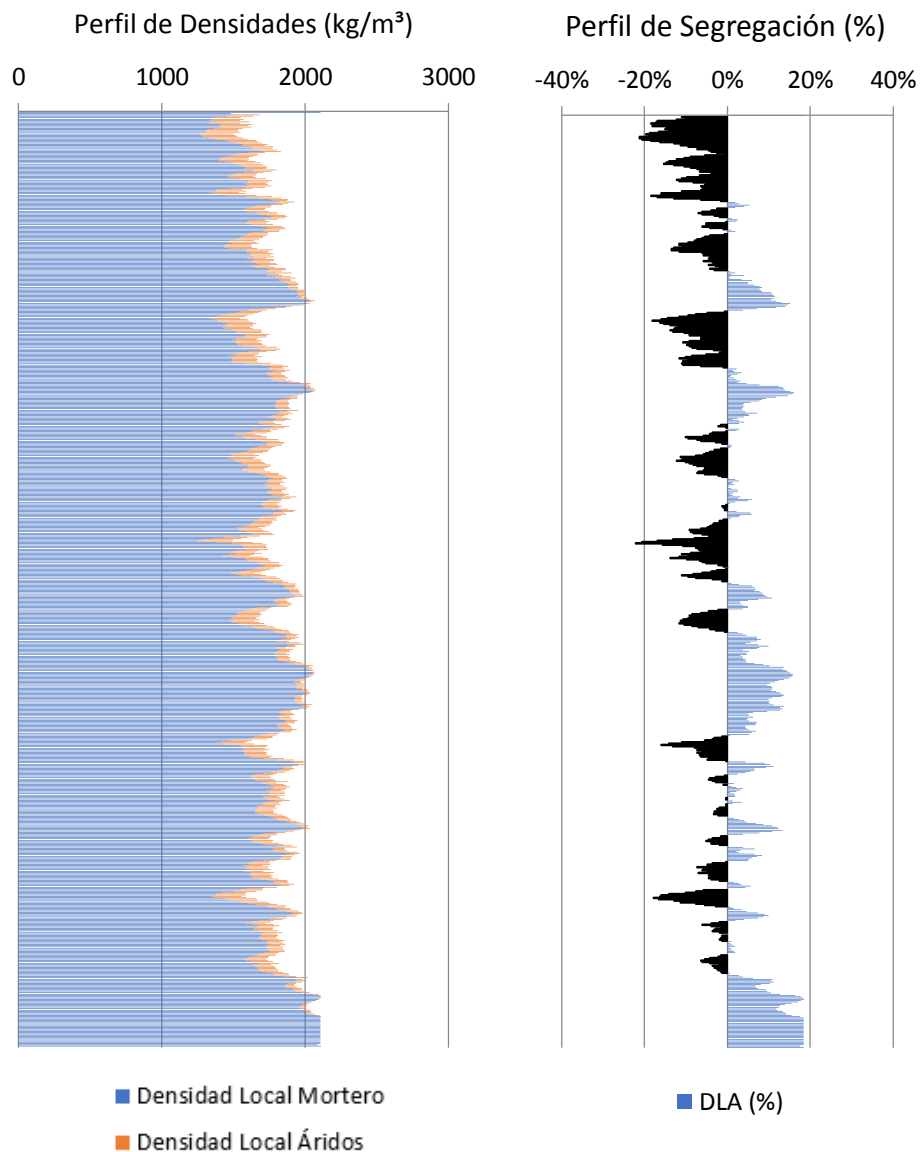
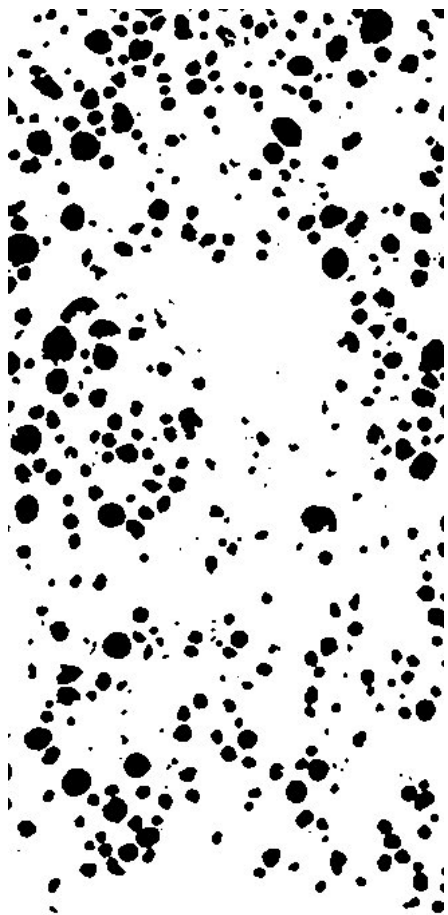
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V40C15B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	19%
CDL (%) =	6%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	16701
Total de Ptos (2/3) =	13398
Total de Ptos (3/3) =	13377
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	13465
Total de Ptos (2/4) =	10884
Total de Ptos (3/4) =	9190
Total de Ptos (4/4) =	9881
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1818.859
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1750.3
D(2/4) =	1818.098
D(3/4) =	1862.596
D(4/4) =	1844.445
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.948958
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	22%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	20%



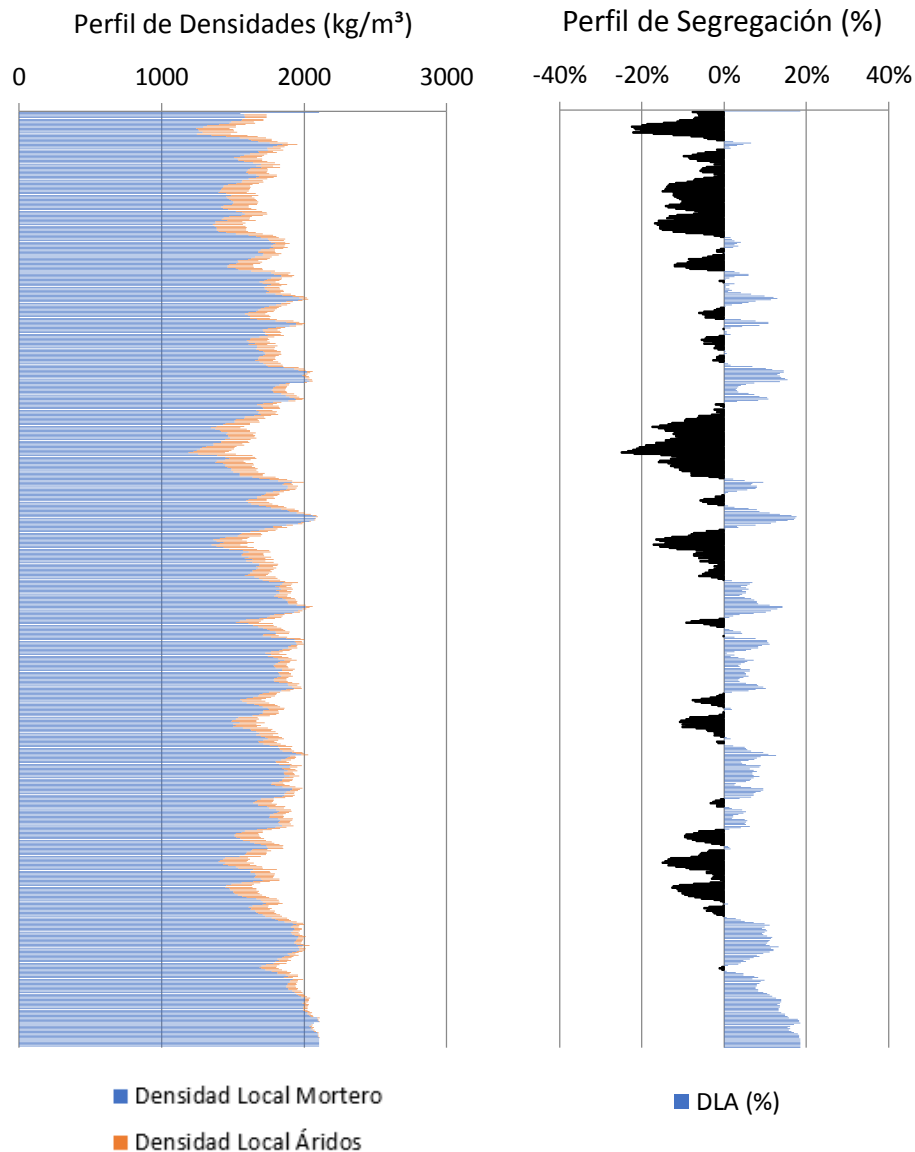
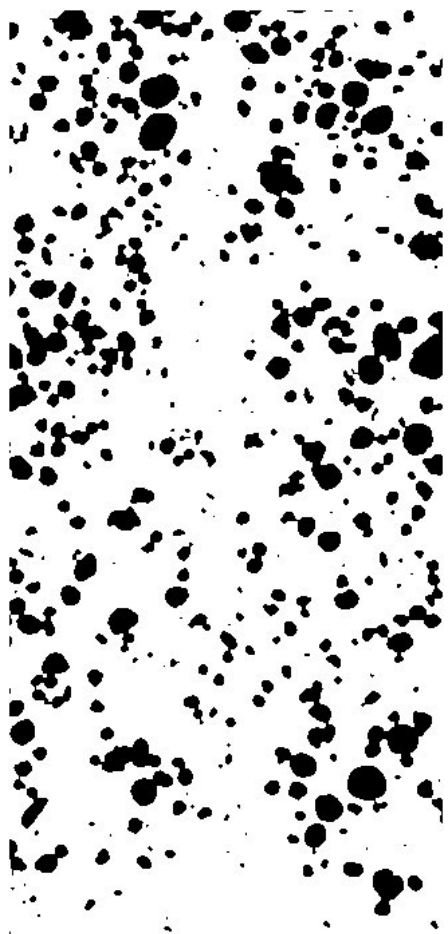
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V40C30A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	19%
CDL (%) =	7%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	16836
Total de Ptos (2/3) =	13493
Total de Ptos (3/3) =	11864
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	13745
Total de Ptos (2/4) =	11618
Total de Ptos (3/4) =	8623
Total de Ptos (4/4) =	8140
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1827.357
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1742.945
D(2/4) =	1798.817
D(3/4) =	1877.49
D(4/4) =	1890.177
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.922106
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	35%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	24%



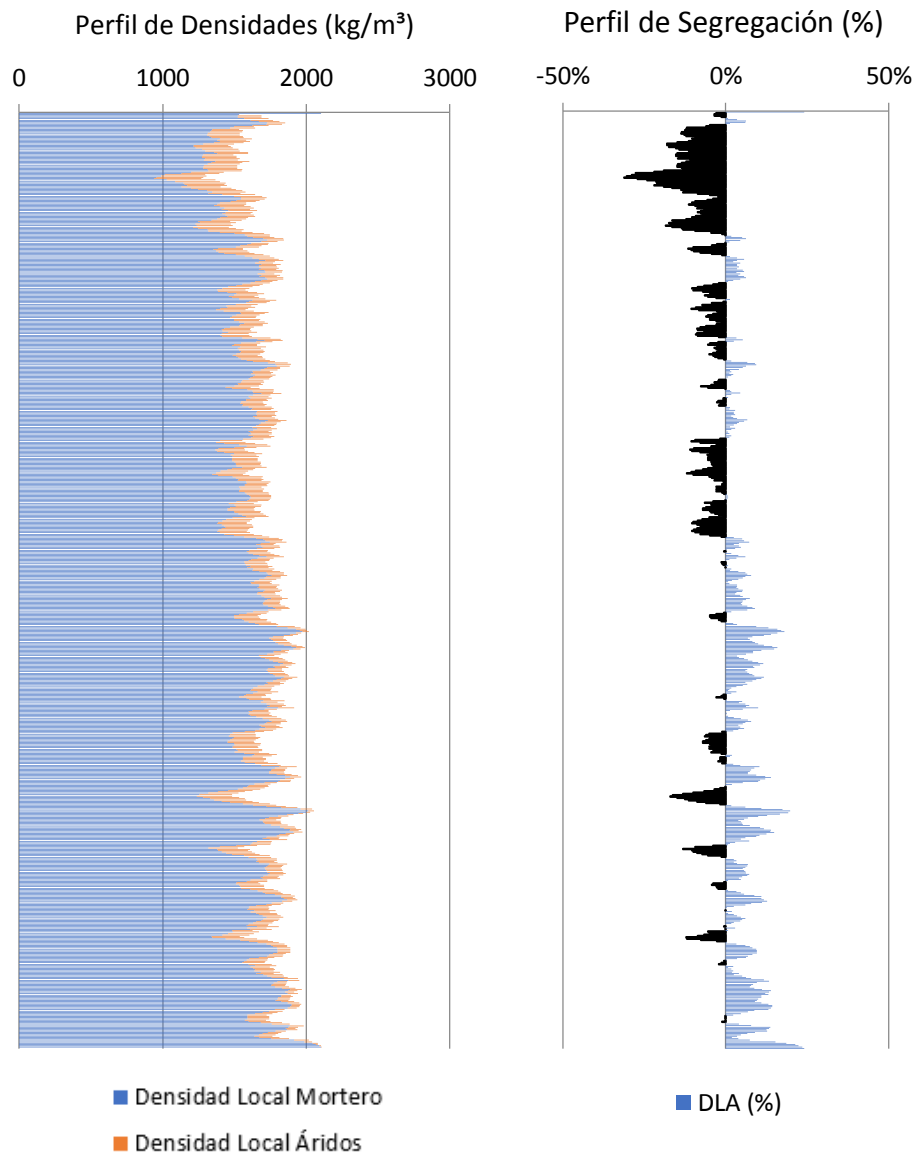
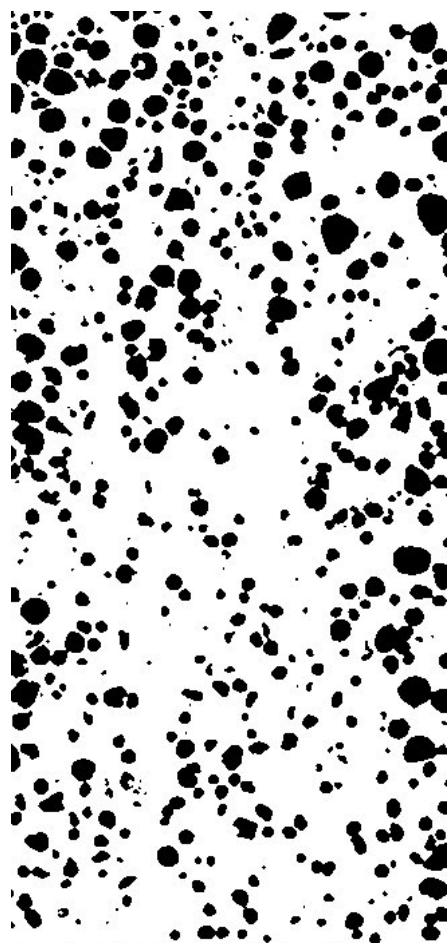
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V40C30B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	19%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	16215
Total de Ptos (2/3) =	15254
Total de Ptos (3/3) =	10722
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	13199
Total de Ptos (2/4) =	12035
Total de Ptos (3/4) =	8731
Total de Ptos (4/4) =	8125
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1827.594
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1757.287
D(2/4) =	1787.863
D(3/4) =	1874.653
D(4/4) =	1890.571
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.9295
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	41%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	24%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

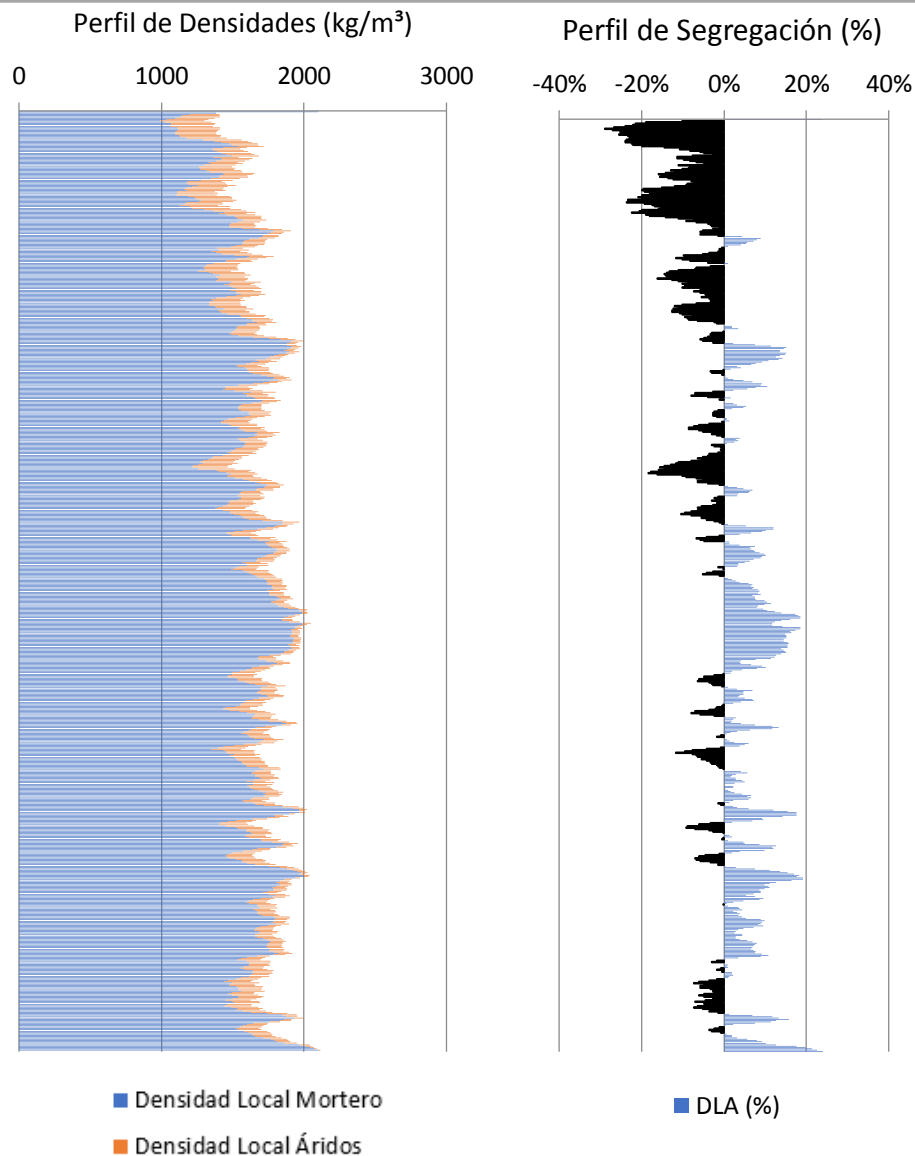
MUESTRA	
HL1900V40C60A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	24%
CDL (%) =	7%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	22371
Total de Ptos (2/3) =	17227
Total de Ptos (3/3) =	15308
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	17842
Total de Ptos (2/4) =	14521
Total de Ptos (3/4) =	11617
Total de Ptos (4/4) =	10859
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1743.87
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1635.324
D(2/4) =	1722.56
D(3/4) =	1798.843
D(4/4) =	1818.754
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.899145
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	37%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	18%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

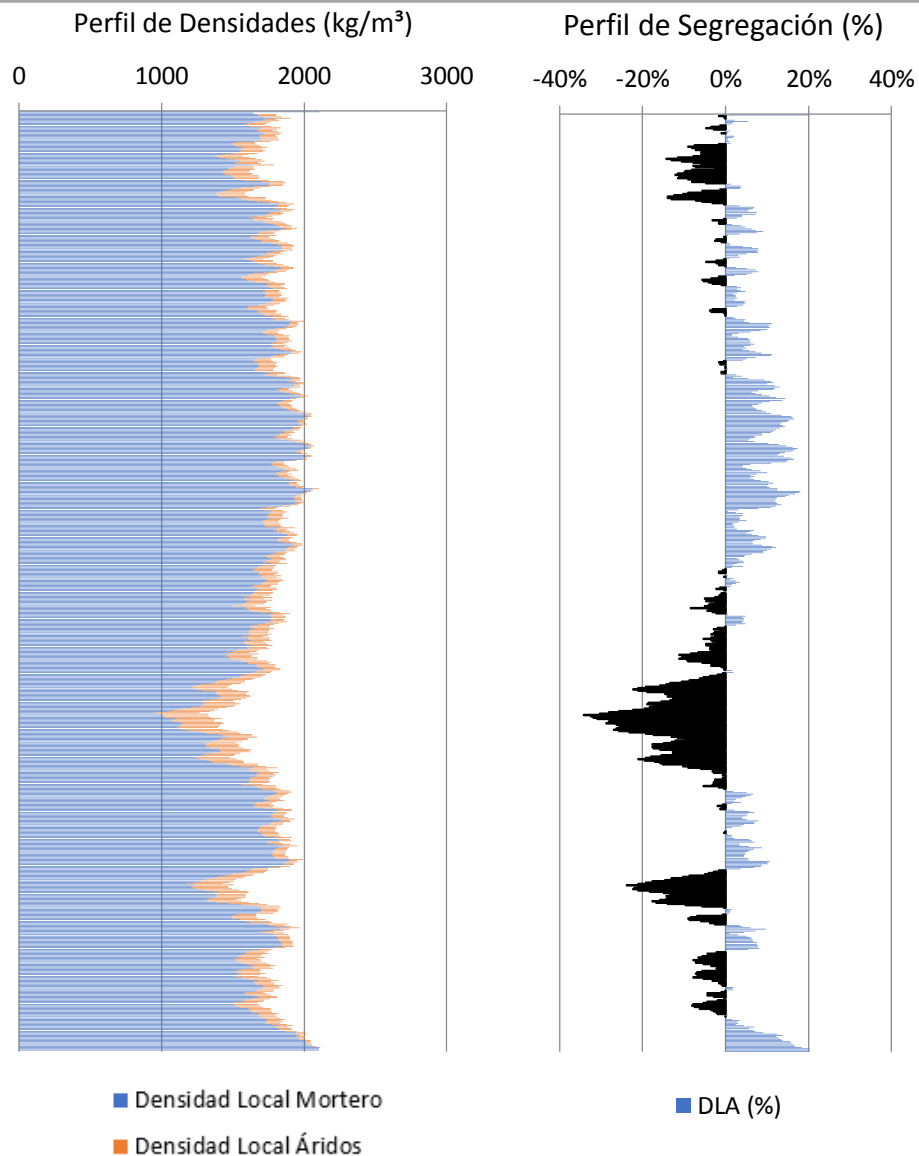


MUESTRA	
HL1900V40C60B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	24%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	23094
Total de Ptos (2/3) =	16085
Total de Ptos (3/3) =	15661
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	18860
Total de Ptos (2/4) =	13752
Total de Ptos (3/4) =	10594
Total de Ptos (4/4) =	11536
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1744.507
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1608.583
D(2/4) =	1742.761
D(3/4) =	1825.715
D(4/4) =	1800.971
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.893176
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	38%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	20%



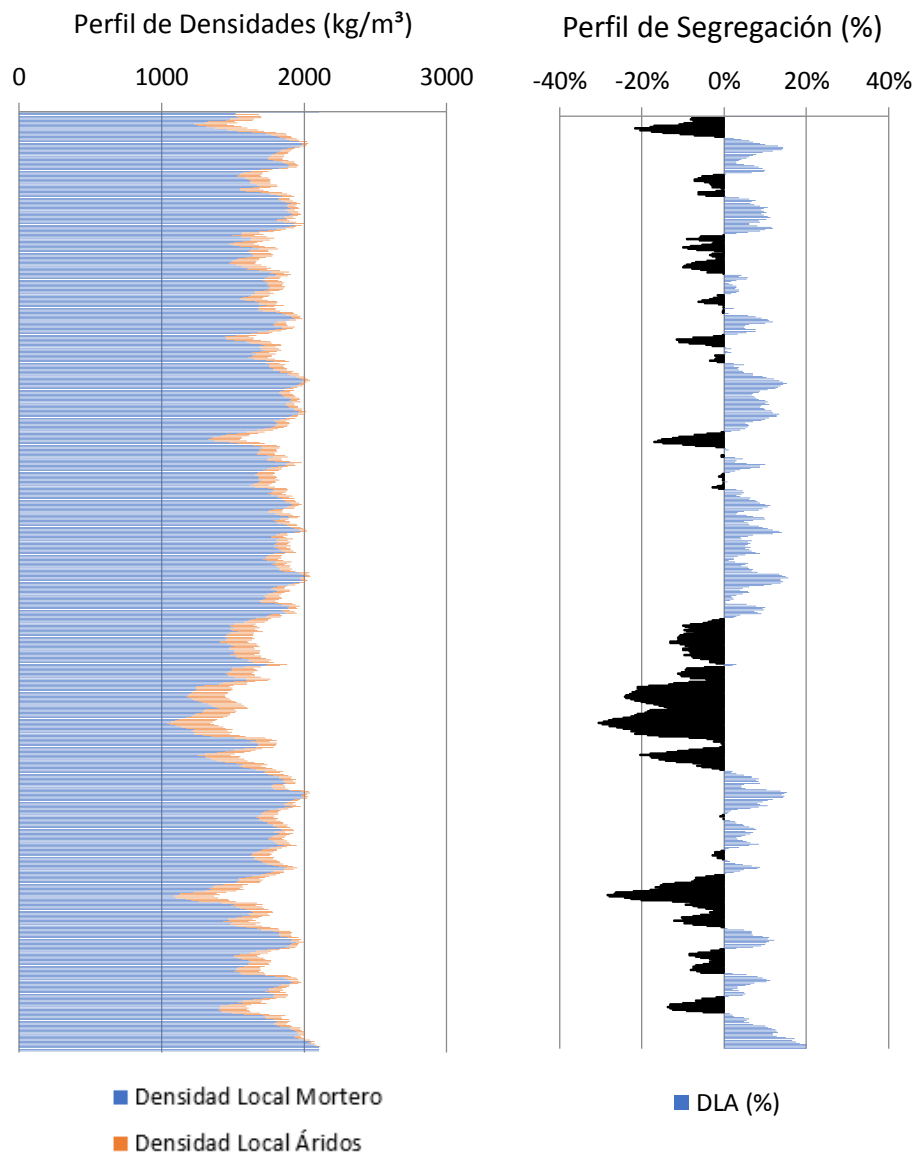
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V40C90A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	20%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	13768
Total de Ptos (2/3) =	15923
Total de Ptos (3/3) =	16371
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	11444
Total de Ptos (2/4) =	6946
Total de Ptos (3/4) =	16058
Total de Ptos (4/4) =	11595
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1801.634
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1803.387
D(2/4) =	1921.542
D(3/4) =	1682.186
D(4/4) =	1799.421
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.002204
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	17%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	23%



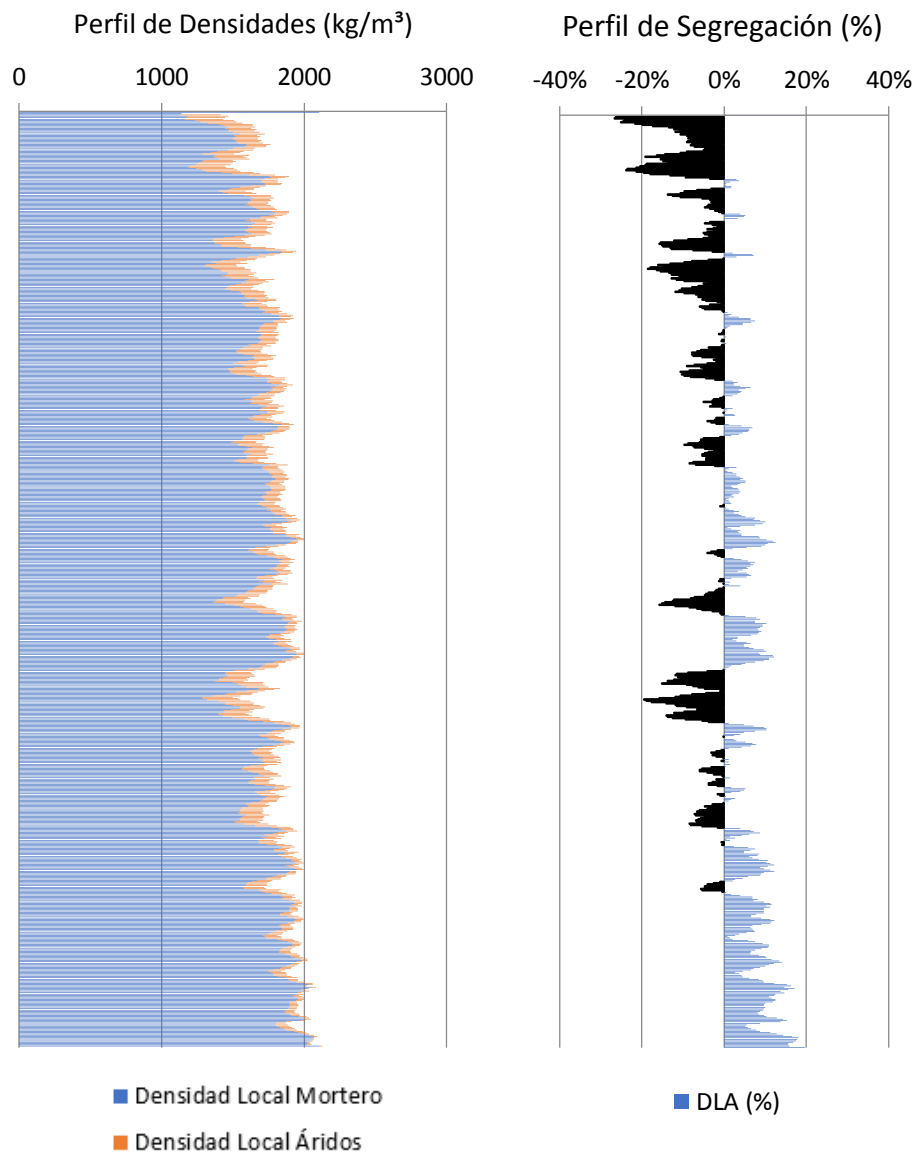
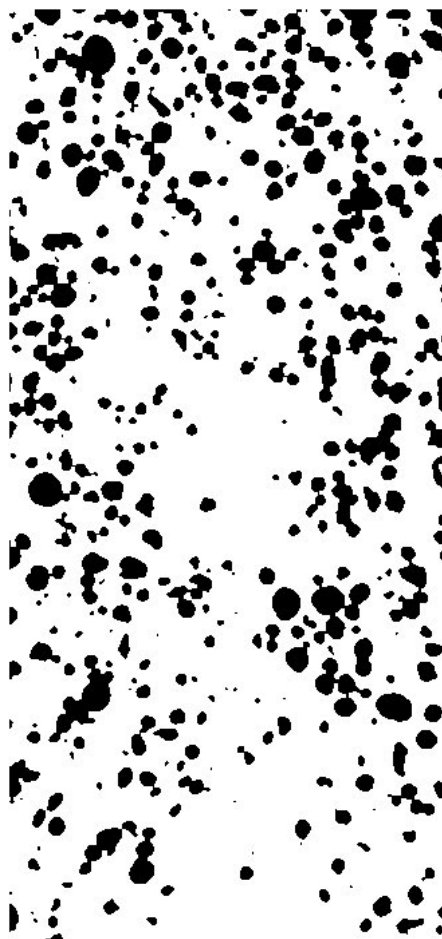
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V40C90B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	20%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	13261
Total de Ptos (2/3) =	17209
Total de Ptos (3/3) =	14828
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	10843
Total de Ptos (2/4) =	8426
Total de Ptos (3/4) =	14703
Total de Ptos (4/4) =	11280
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1806.829
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1819.175
D(2/4) =	1882.665
D(3/4) =	1717.78
D(4/4) =	1807.695
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.00635
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	11%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	25%



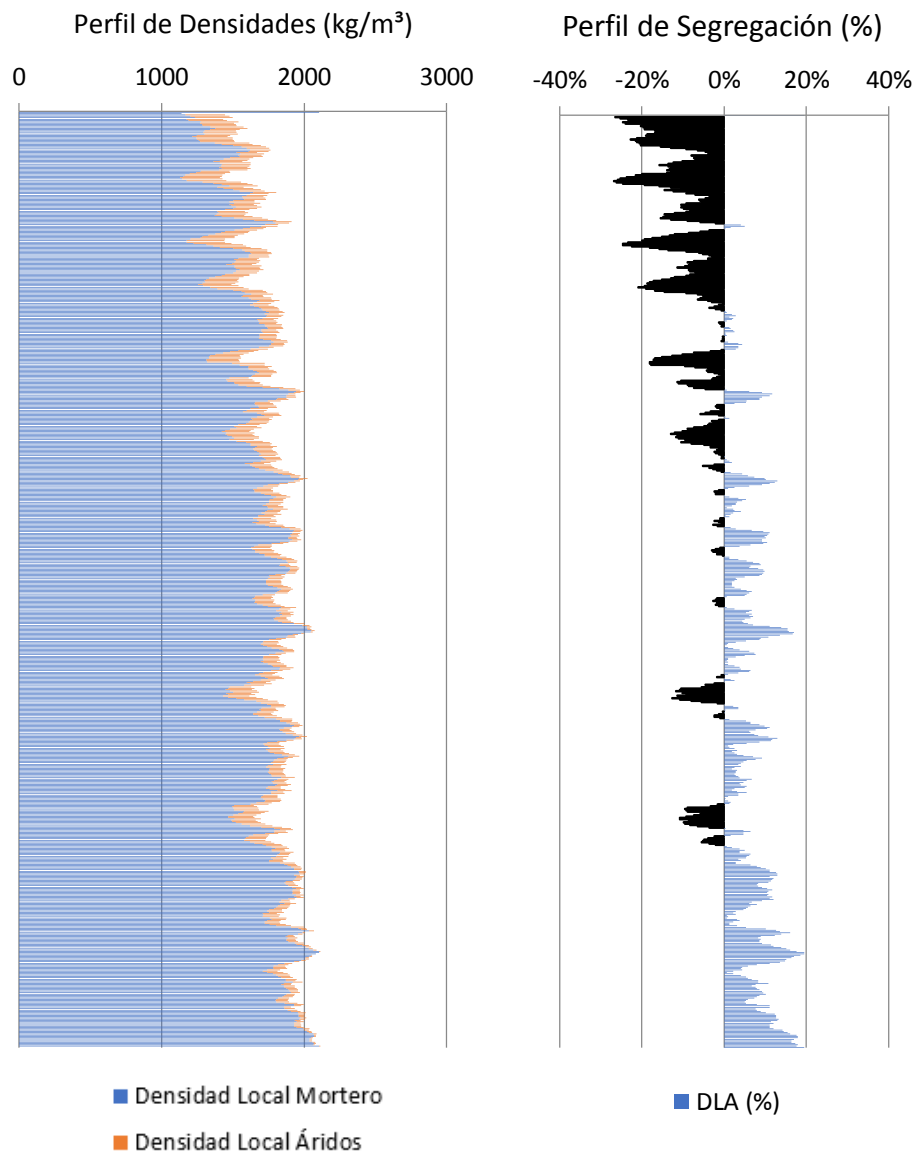
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V80C15A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	20%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	19151
Total de Ptos (2/3) =	14707
Total de Ptos (3/3) =	10718
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	14989
Total de Ptos (2/4) =	10767
Total de Ptos (3/4) =	11858
Total de Ptos (4/4) =	6912
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1811.596
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1710.267
D(2/4) =	1821.171
D(3/4) =	1792.512
D(4/4) =	1922.435
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.889636
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	56%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	21%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V80C15B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	19%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	21170
Total de Ptos (2/3) =	13188
Total de Ptos (3/3) =	9869
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	16746
Total de Ptos (2/4) =	11163
Total de Ptos (3/4) =	9538
Total de Ptos (4/4) =	6701
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1814.079
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1664.114
D(2/4) =	1810.769
D(3/4) =	1853.455
D(4/4) =	1927.977
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.86314
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	73%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	24%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

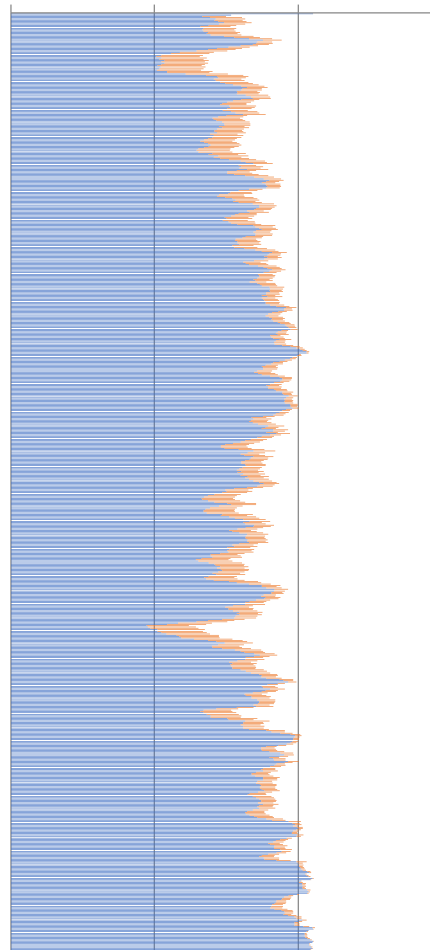


MUESTRA	
HL1900V80C30A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	21%
CDL (%) =	9%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	19576
Total de Ptos (2/3) =	16976
Total de Ptos (3/3) =	10541
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	16588
Total de Ptos (2/4) =	8773
Total de Ptos (3/4) =	15524
Total de Ptos (4/4) =	6180
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1794.923
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1668.264
D(2/4) =	1873.55
D(3/4) =	1696.214
D(4/4) =	1941.663
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.859194
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	60%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	27%



Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)

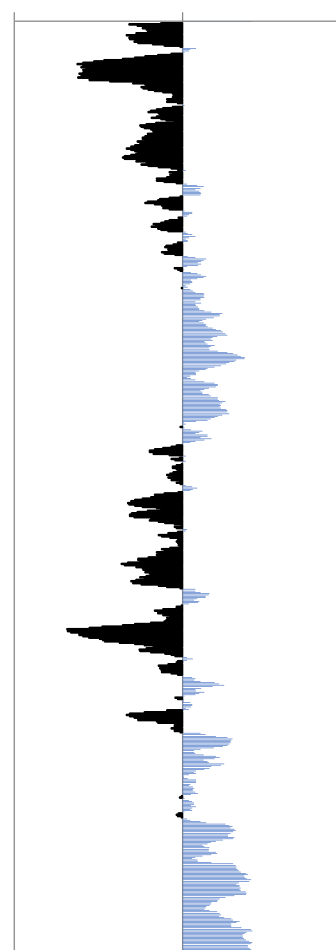
0 1000 2000 3000



■ Densidad Local Mortero  
■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)

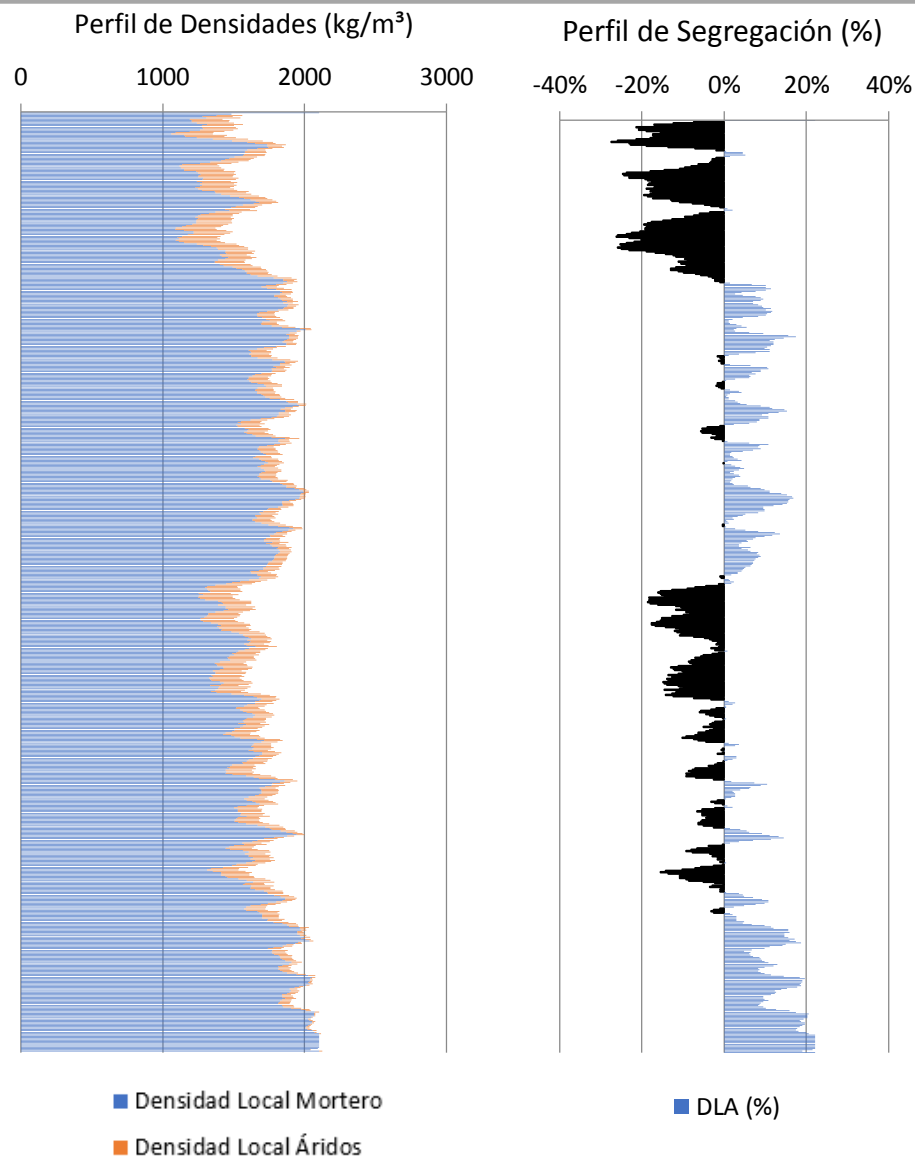
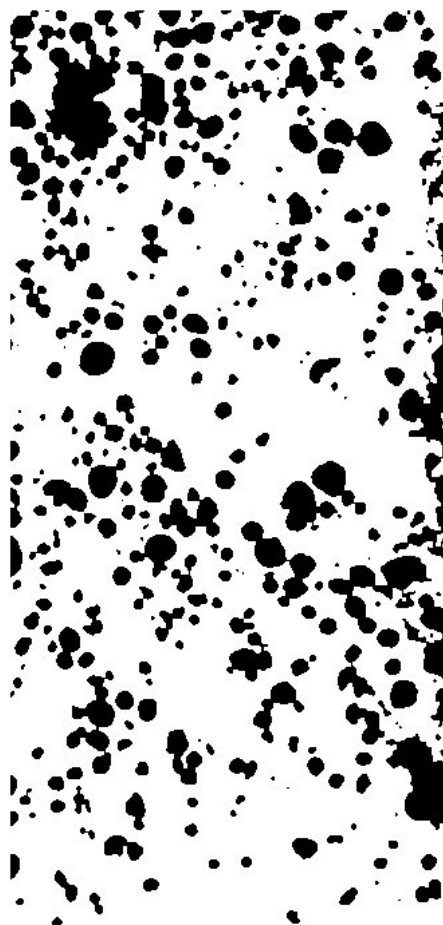
-50% 0% 50%



■ DLA (%)

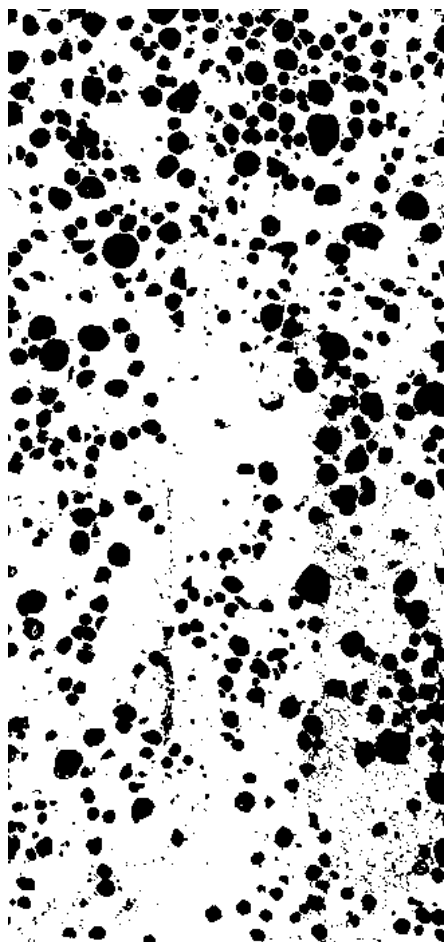
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V80C30B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	22%
CDL (%) =	9%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	19940
Total de Ptos (2/3) =	18119
Total de Ptos (3/3) =	12348
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	16464
Total de Ptos (2/4) =	9844
Total de Ptos (3/4) =	15989
Total de Ptos (4/4) =	8020
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1773.567
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1671.521
D(2/4) =	1845.417
D(3/4) =	1683.999
D(4/4) =	1893.33
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.882848
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	47%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	26%

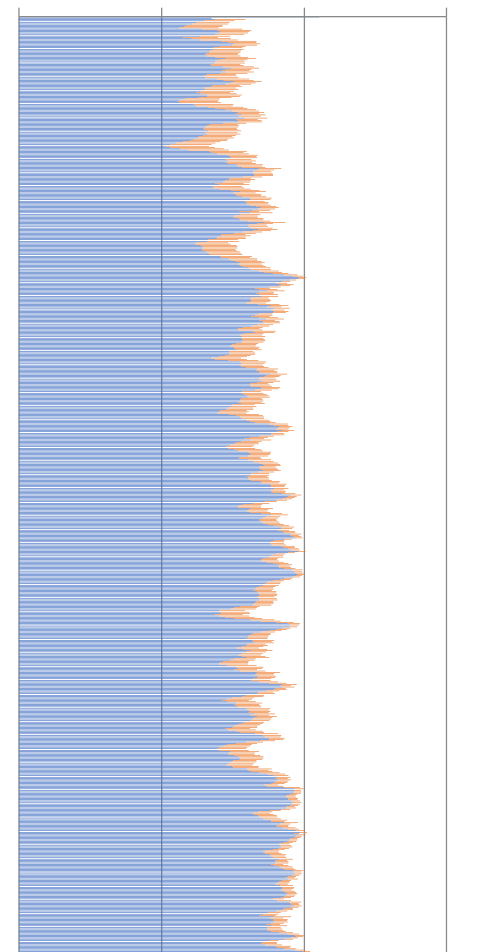


‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V80C60A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	23%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	22718
Total de Ptos (2/3) =	15761
Total de Ptos (3/3) =	13527
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	18729
Total de Ptos (2/4) =	12996
Total de Ptos (3/4) =	11181
Total de Ptos (4/4) =	9013
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1763.046
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1612.024
D(2/4) =	1762.619
D(3/4) =	1810.296
D(4/4) =	1867.245
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.863317
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	51%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	22%

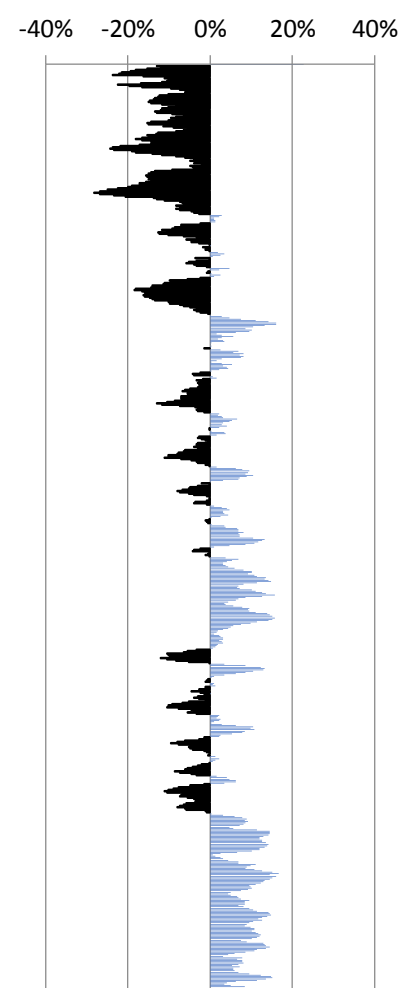


Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)



■ Densidad Local Mortero  
■ Densidad Local Áridos

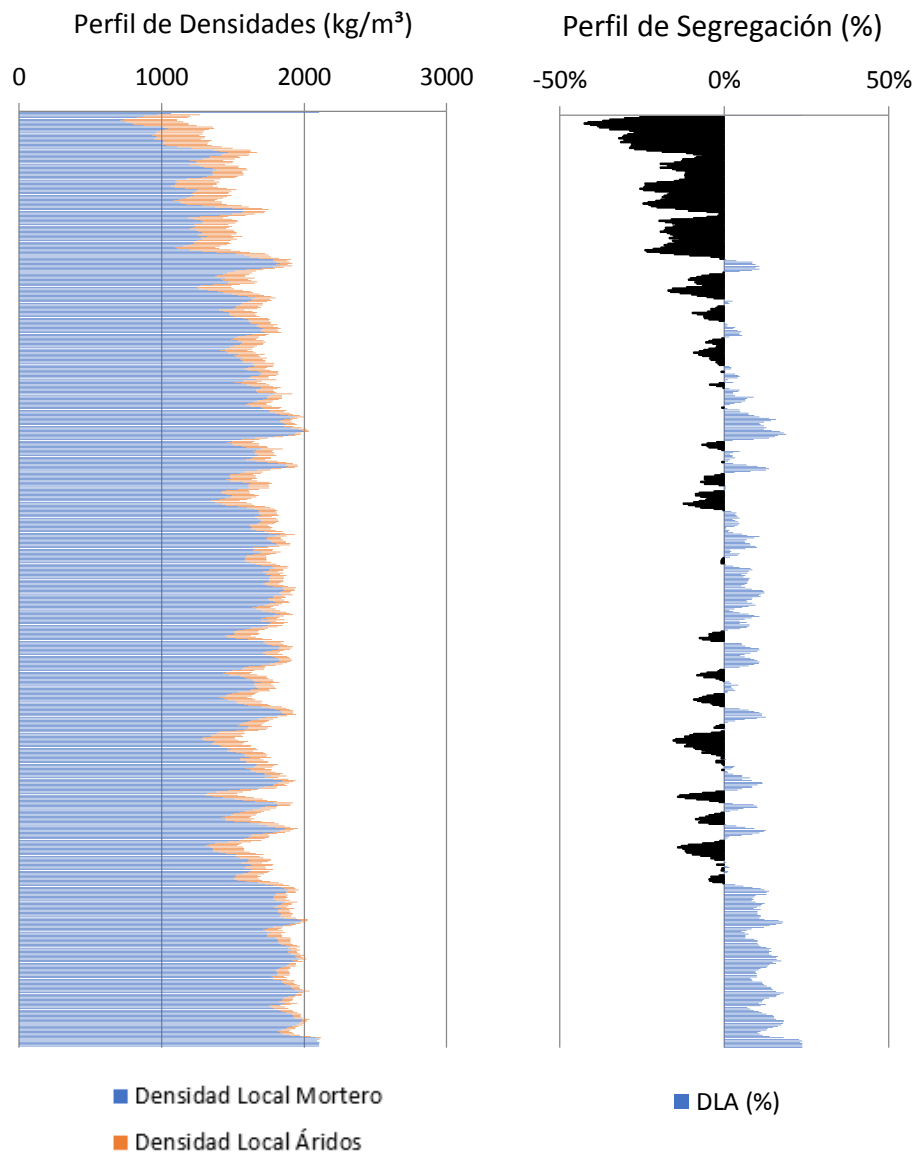
Perfil de Segregación (%)



■ DLA (%)

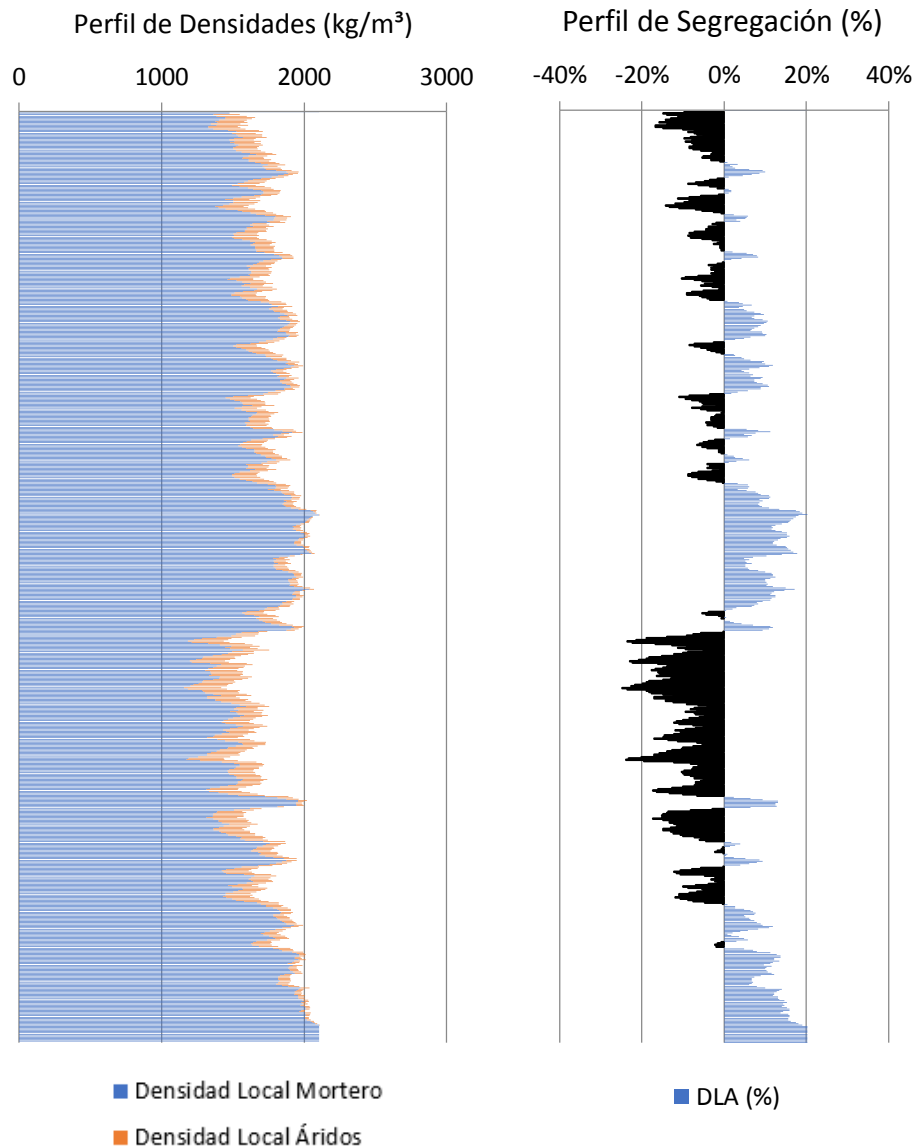
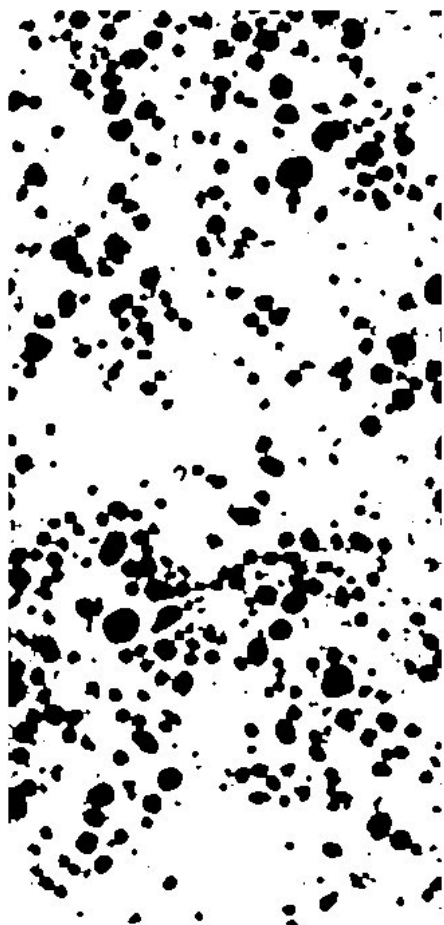
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900V80C60B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	24%
CDL (%) =	9%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	24736
Total de Ptos (2/3) =	15812
Total de Ptos (3/3) =	13493
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	20679
Total de Ptos (2/4) =	12000
Total de Ptos (3/4) =	12523
Total de Ptos (4/4) =	8801
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1749.361
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1560.801
D(2/4) =	1788.782
D(3/4) =	1775.044
D(4/4) =	1872.814
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.833399
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	59%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	25%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

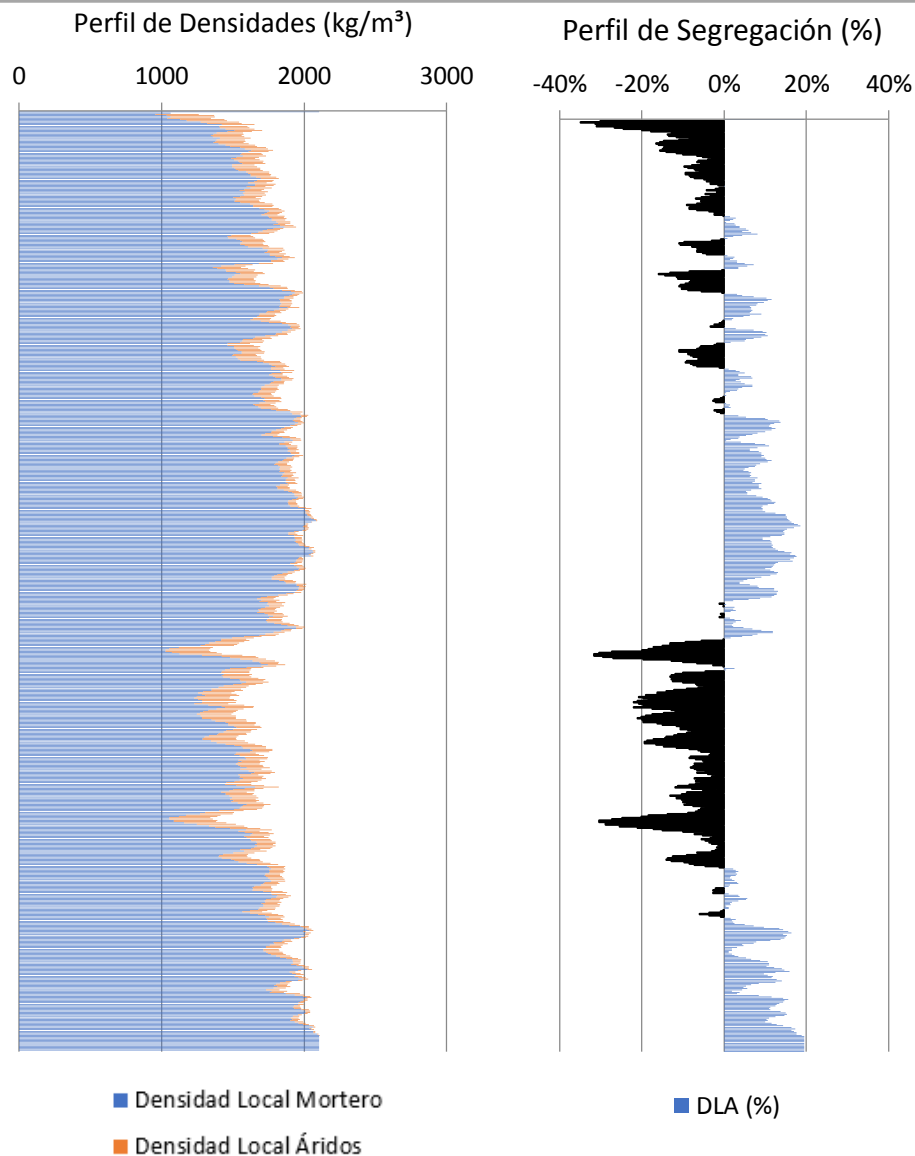
MUESTRA	
HL1900V80C90A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	20%
CDL (%) =	9%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	16247
Total de Ptos (2/3) =	15272
Total de Ptos (3/3) =	14547
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	12627
Total de Ptos (2/4) =	8823
Total de Ptos (3/4) =	15294
Total de Ptos (4/4) =	9247
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1801.976
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1772.312
D(2/4) =	1872.236
D(3/4) =	1702.255
D(4/4) =	1861.099
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.952294
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	11%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	27%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

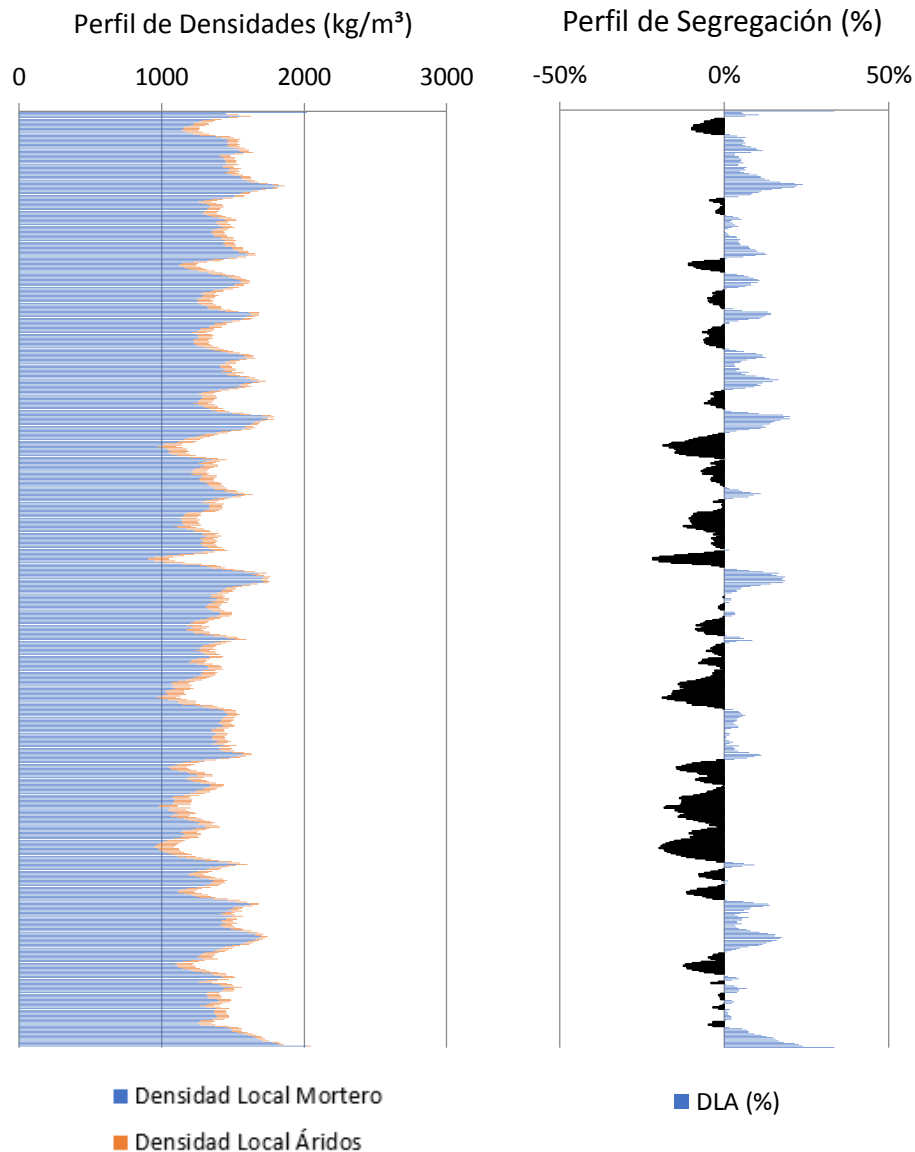
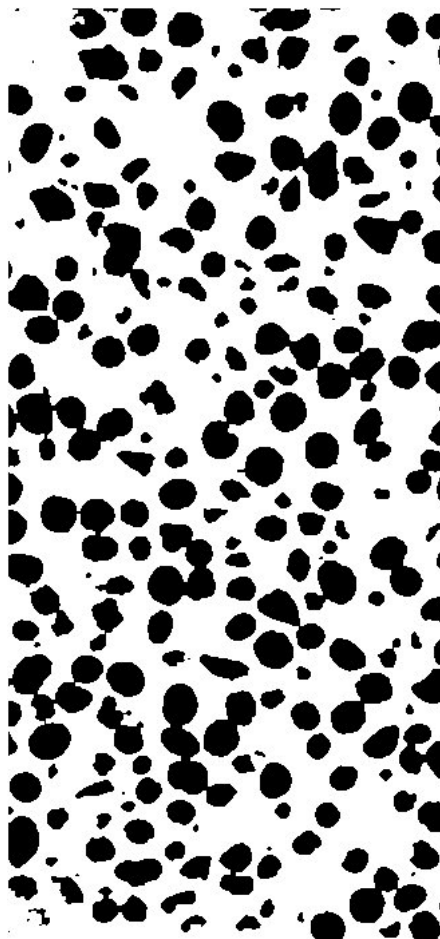


MUESTRA	
HL1900V80C90B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	2104
MUESTRA	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	20%
CDL (%) =	9%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	16711
Total de Ptos (2/3) =	13841
Total de Ptos (3/3) =	13875
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	13315
Total de Ptos (2/4) =	6888
Total de Ptos (3/4) =	15655
Total de Ptos (4/4) =	8543
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1812.417
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1754.24
D(2/4) =	1923.065
D(3/4) =	1692.772
D(4/4) =	1879.591
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.933309
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	19%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	29%



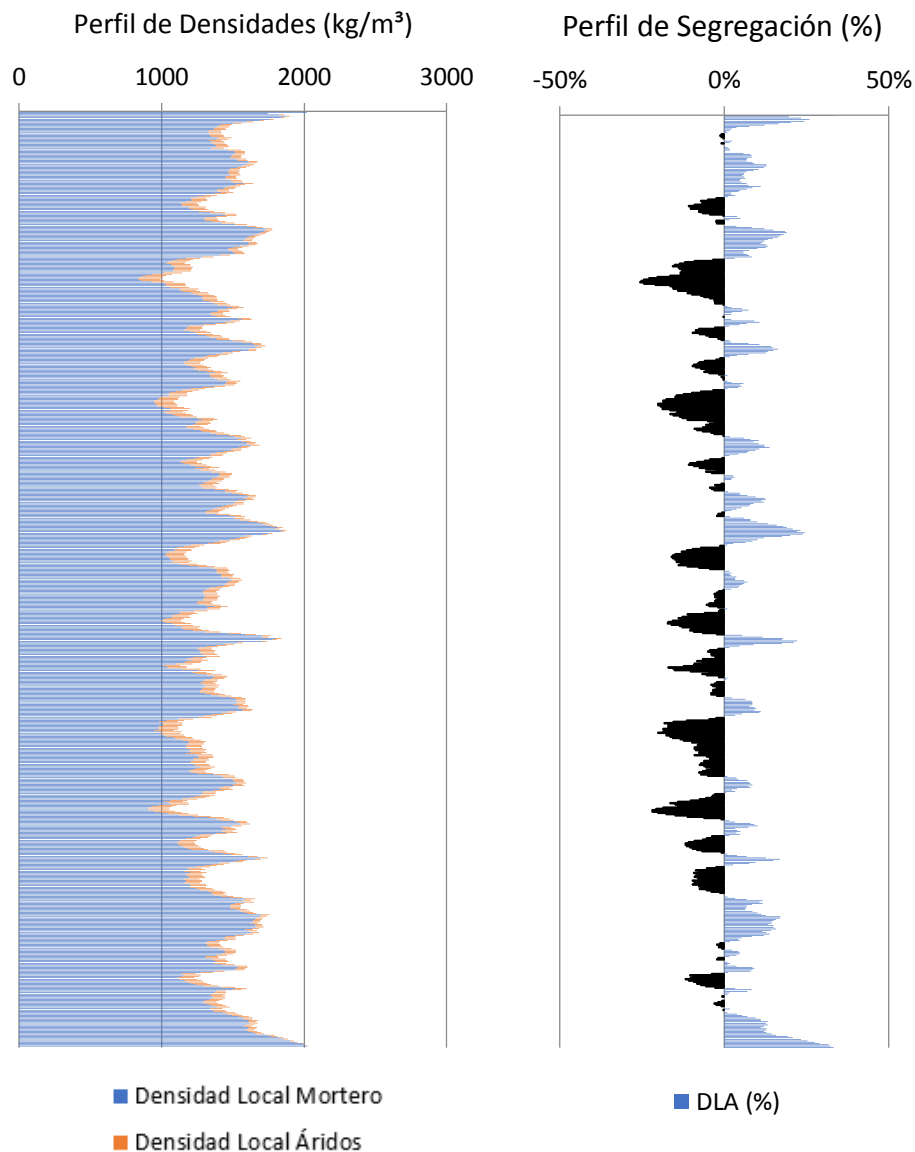
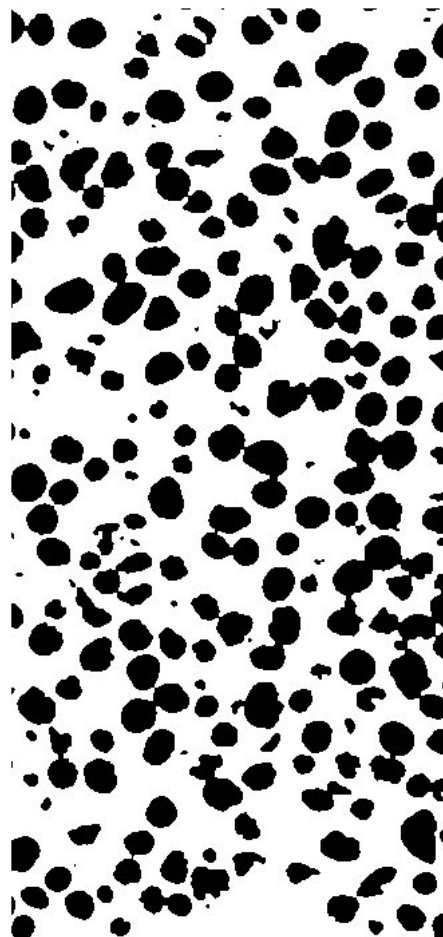
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V0C15A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	34%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	22625
Total de Ptos (2/3) =	27398
Total de Ptos (3/3) =	26317
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	17296
Total de Ptos (2/4) =	19211
Total de Ptos (3/4) =	20715
Total de Ptos (4/4) =	19056
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1434.24
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1488.903
D(2/4) =	1429.879
D(3/4) =	1383.523
D(4/4) =	1434.656
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.037812
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	15%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	15%



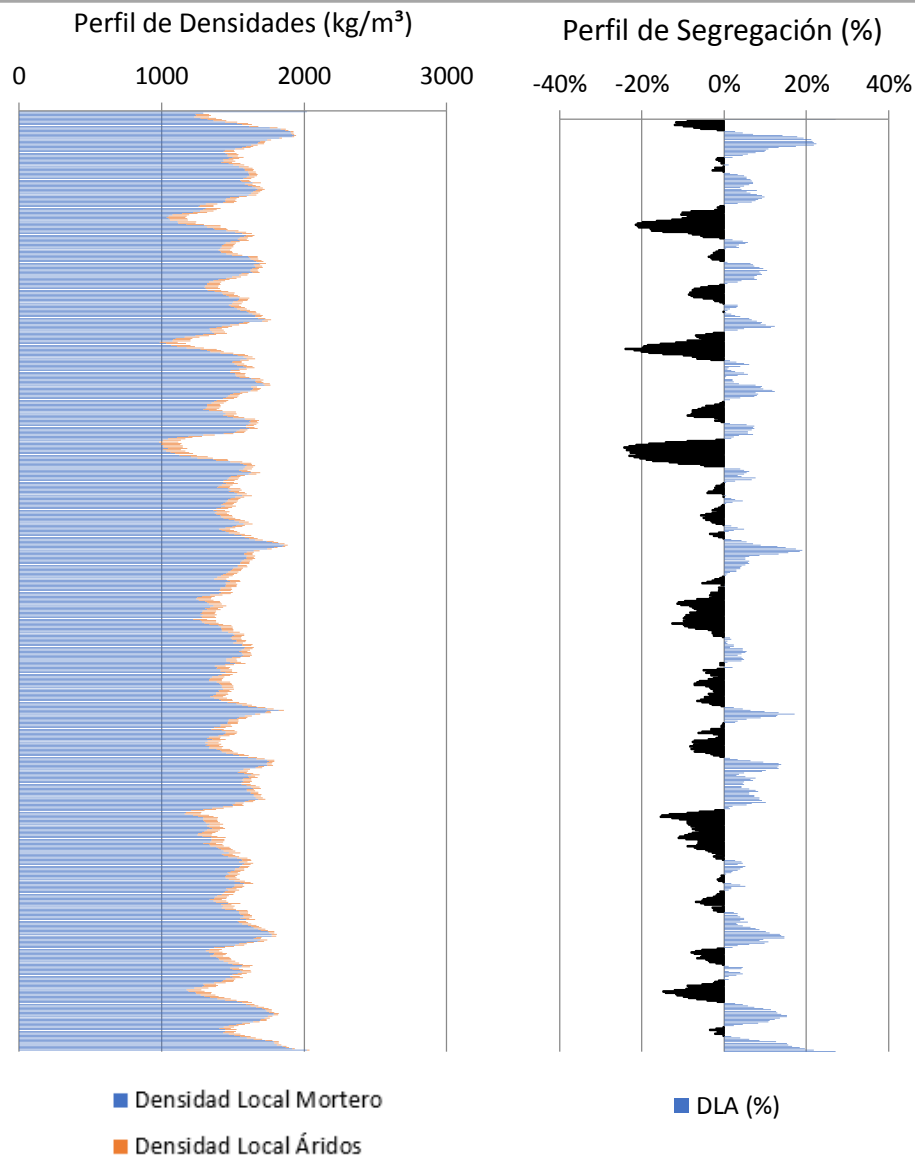
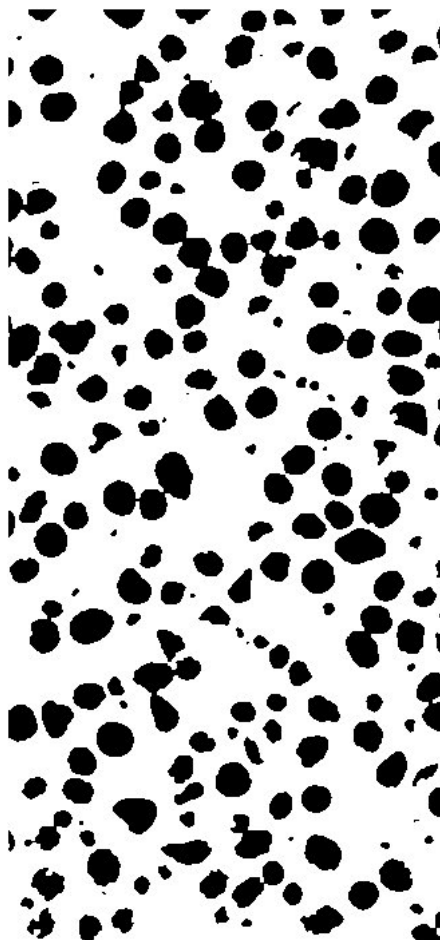
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700VOC15B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	33%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	25646
Total de Ptos (2/3) =	25828
Total de Ptos (3/3) =	24290
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	18143
Total de Ptos (2/4) =	19314
Total de Ptos (3/4) =	21347
Total de Ptos (4/4) =	16835
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1439.164
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1462.797
D(2/4) =	1426.704
D(3/4) =	1364.043
D(4/4) =	1503.112
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.973179
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	5%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	19%



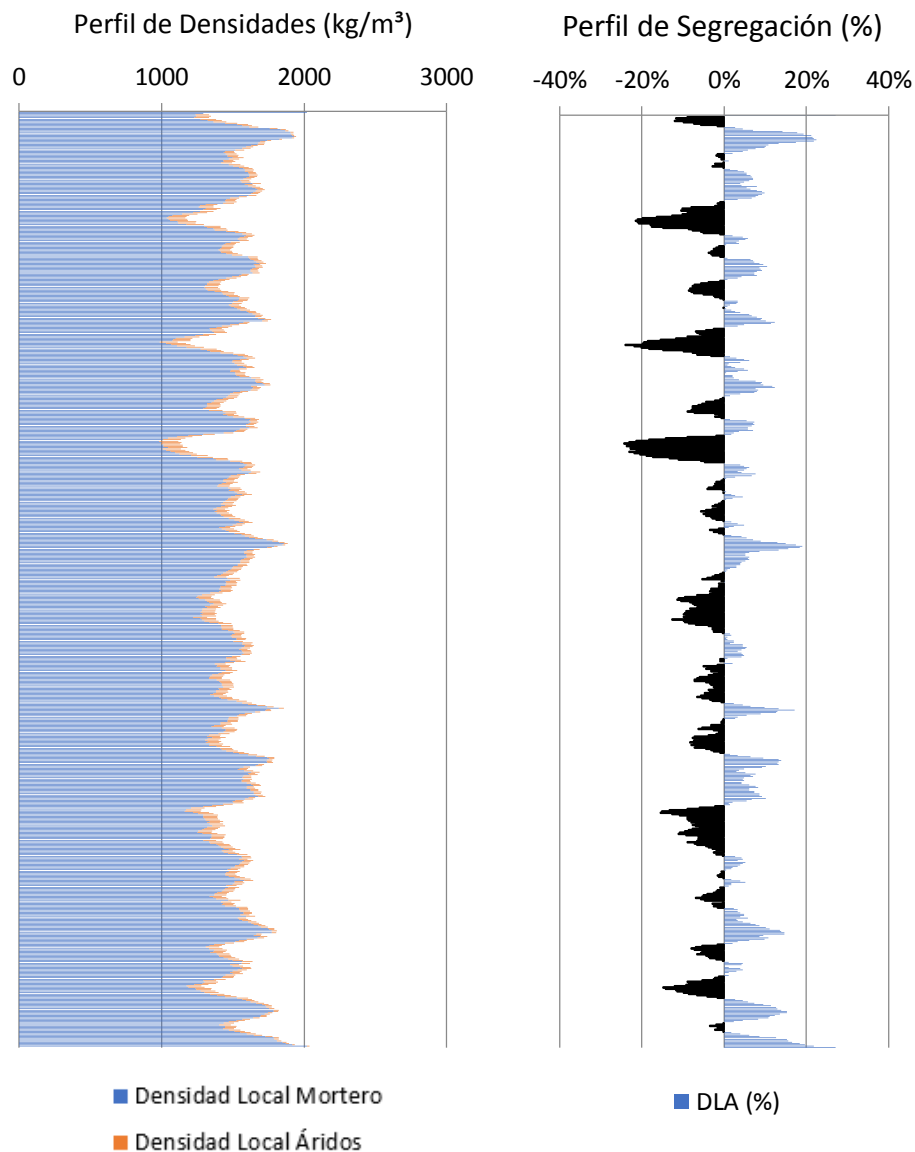
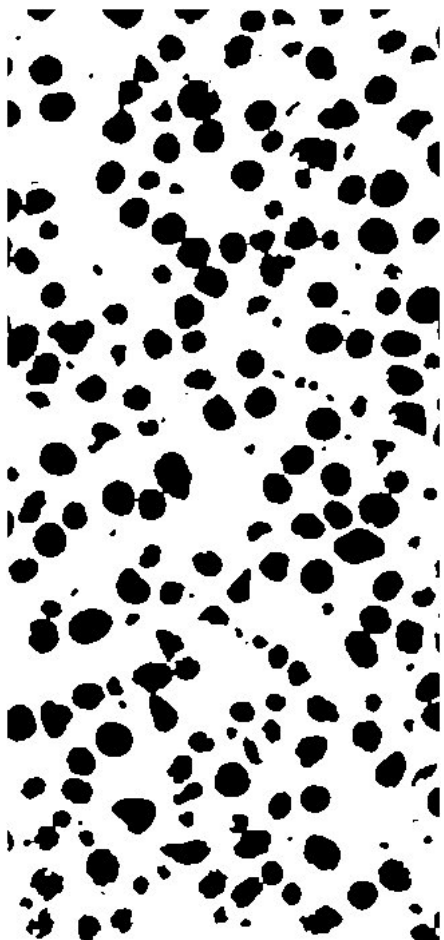
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V0C30A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	27%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	20281
Total de Ptos (2/3) =	21735
Total de Ptos (3/3) =	19564
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	15258
Total de Ptos (2/4) =	15652
Total de Ptos (3/4) =	15726
Total de Ptos (4/4) =	14878
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1548.004
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1551.718
D(2/4) =	1539.574
D(3/4) =	1537.294
D(4/4) =	1563.431
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.992509
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	4%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	16%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

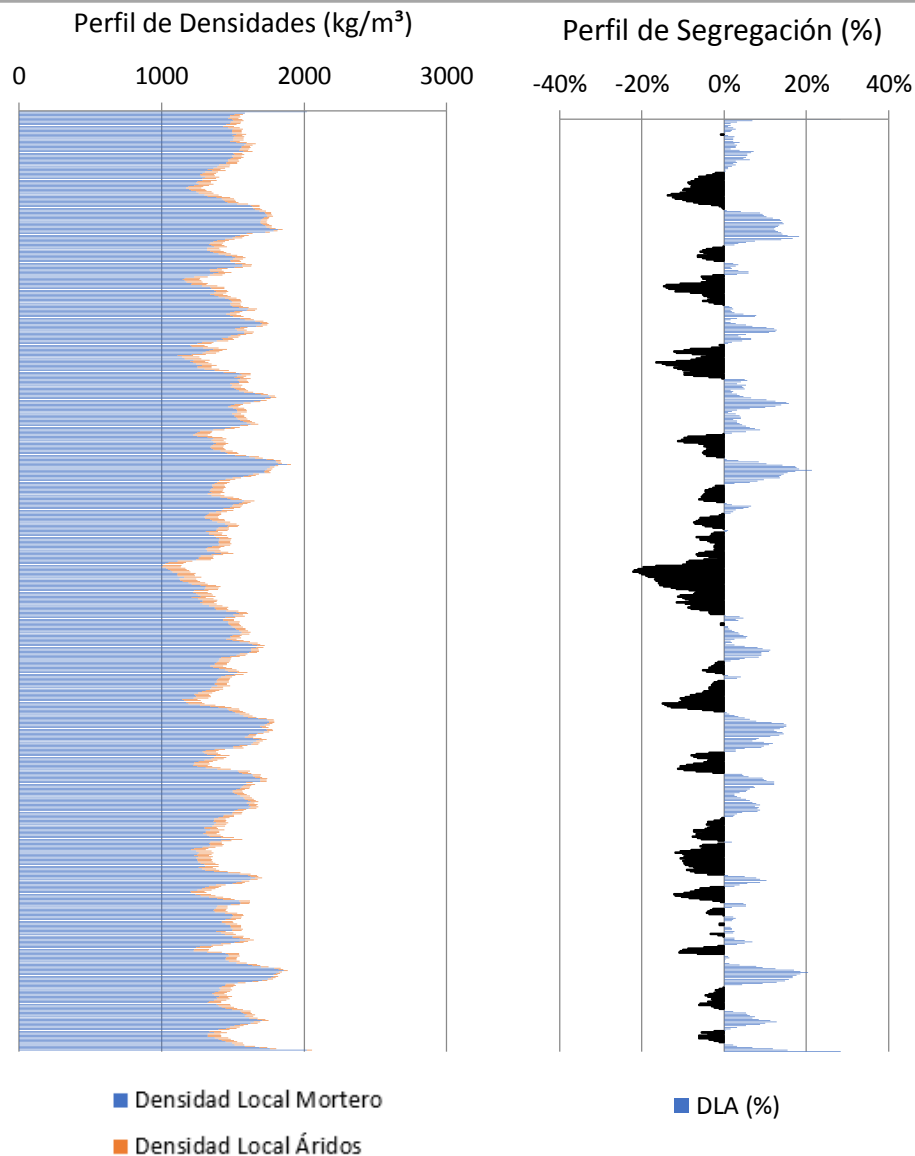
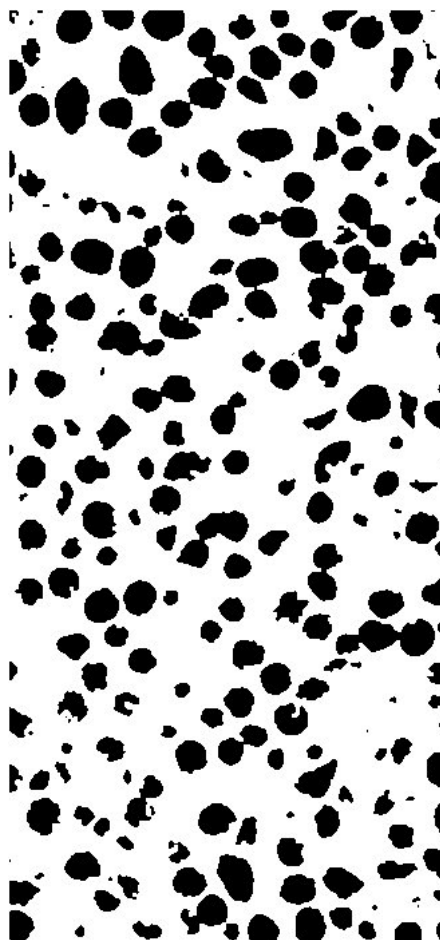
MUESTRA	
HLM1700V0C30B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	27%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	20281
Total de Ptos (2/3) =	21735
Total de Ptos (3/3) =	19564
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	15258
Total de Ptos (2/4) =	15652
Total de Ptos (3/4) =	15726
Total de Ptos (4/4) =	14878
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1548.004
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1551.718
D(2/4) =	1539.574
D(3/4) =	1537.294
D(4/4) =	1563.431
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.992509
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	4%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	16%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

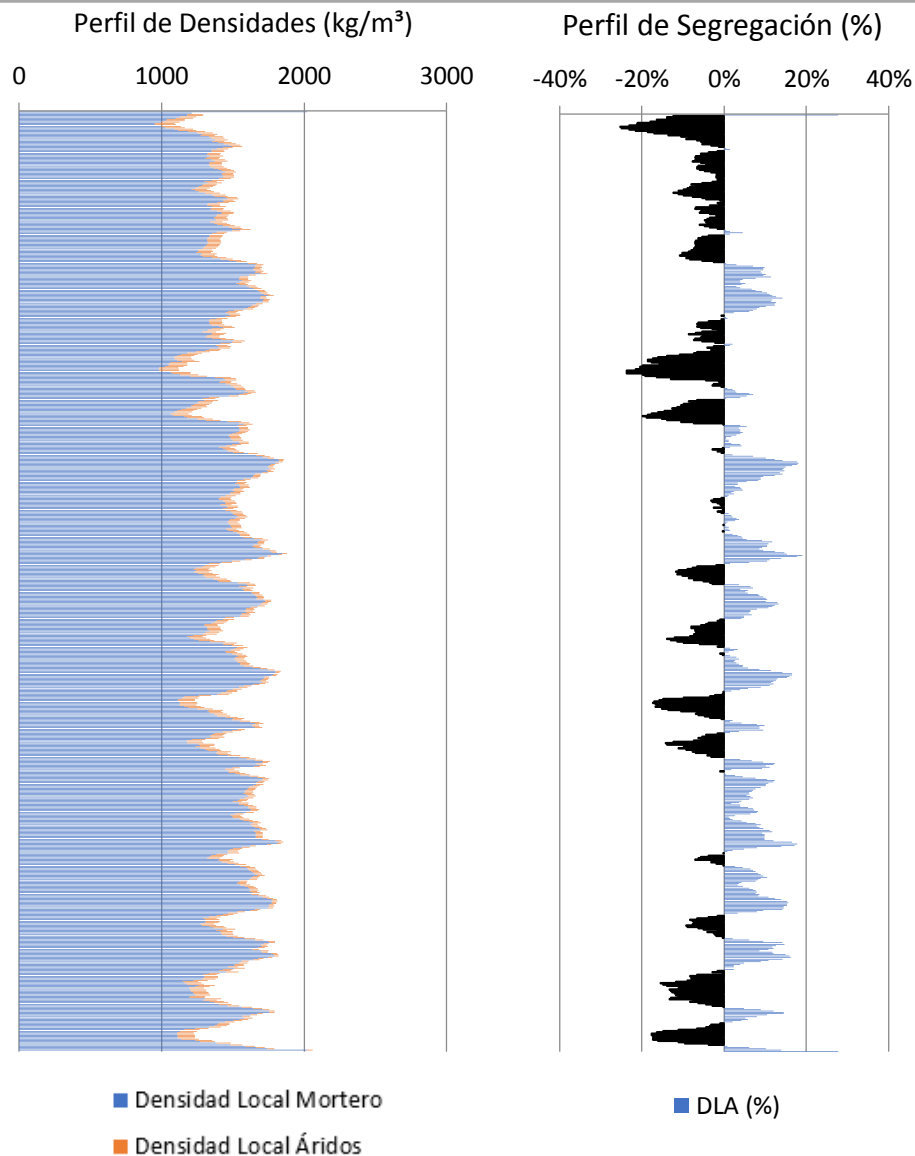
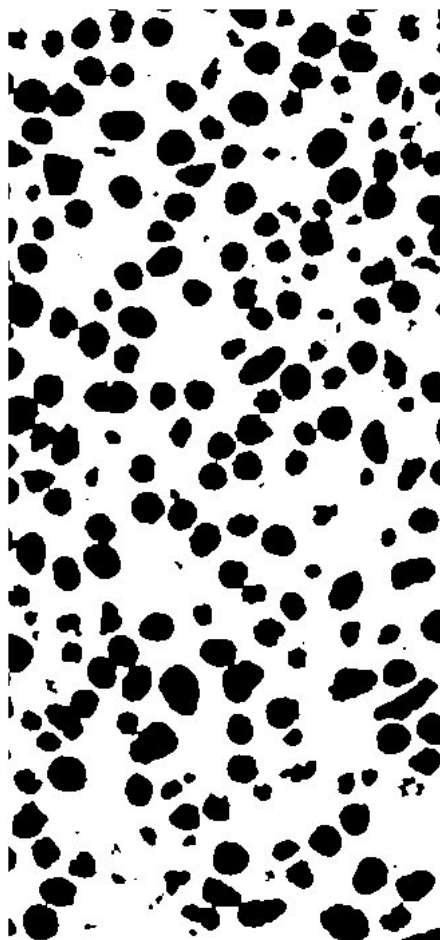


MUESTRA	
HLM1700VOC60A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	28%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	20926
Total de Ptos (2/3) =	22736
Total de Ptos (3/3) =	21043
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	15606
Total de Ptos (2/4) =	17121
Total de Ptos (3/4) =	15686
Total de Ptos (4/4) =	16228
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1523.909
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1540.992
D(2/4) =	1494.297
D(3/4) =	1538.526
D(4/4) =	1521.821
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.012598
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	1%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	16%



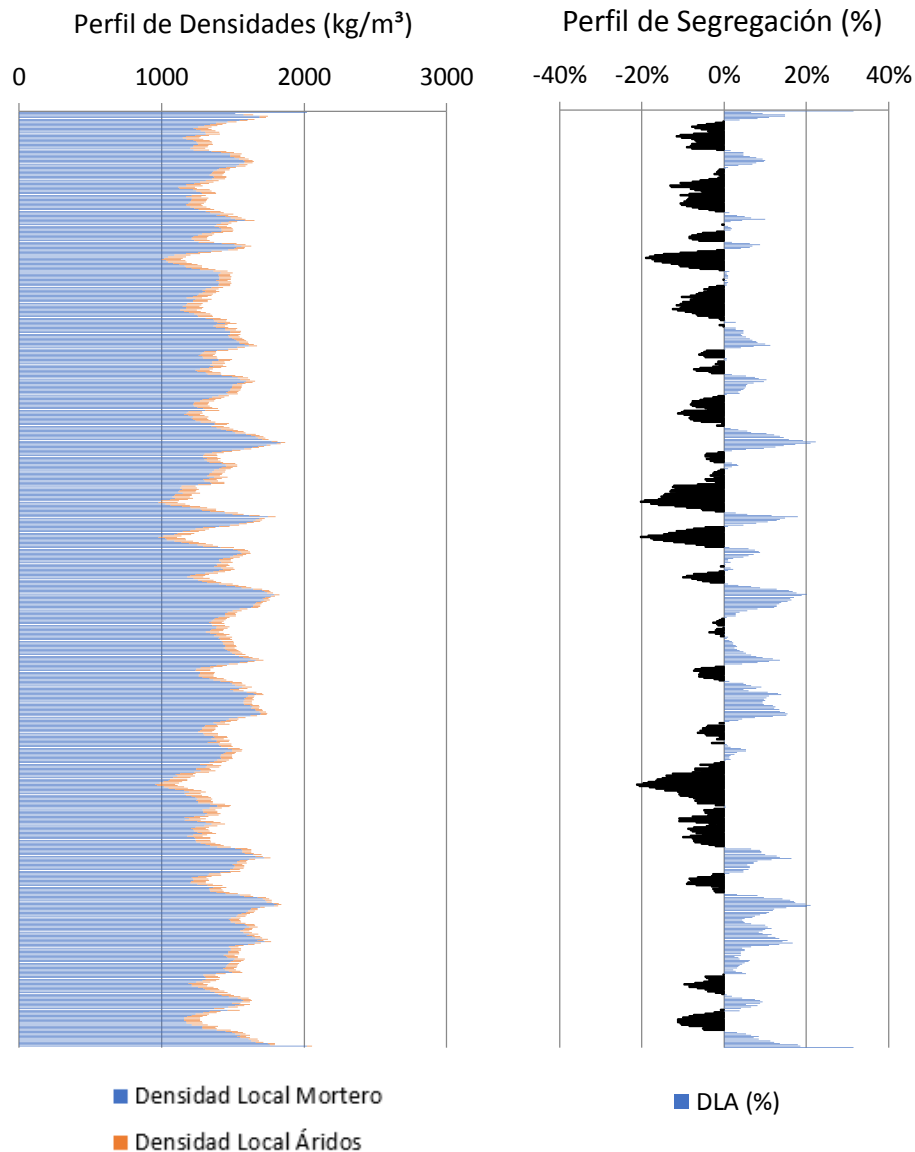
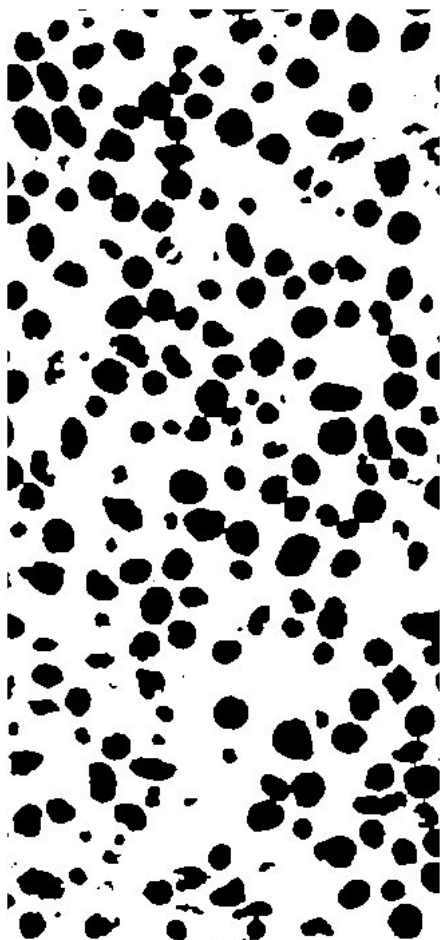
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V0C60B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<b>1.1 Distribución Global</b>	
IAG (%) =	28%
CDL (%) =	8%
<b>1.2 Distribución em 3 Zonas</b>	
Total de Ptos (1/3) =	24629
Total de Ptos (2/3) =	19197
Total de Ptos (3/3) =	19165
<b>1.3 Distribución em 4 Zonas</b>	
Total de Ptos (1/4) =	17465
Total de Ptos (2/4) =	16183
Total de Ptos (3/4) =	14745
Total de Ptos (4/4) =	14526
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<b>2.1 Mitades de Probeta</b>	
Dmp =	1537.178
<b>2.2 Cuartos de Probeta</b>	
D(1/4) =	1483.694
D(2/4) =	1523.208
D(3/4) =	1567.53
D(4/4) =	1574.28
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<b>3.1 Según Ke et al</b>	
IS (Ke) =	0.942459
<b>3.2 Según Navarrete et al</b>	
IS (Navarrete) =	25%
Concepto:	
<b>3.3 Según Solak</b>	
IS vertical (Solak) =	19%



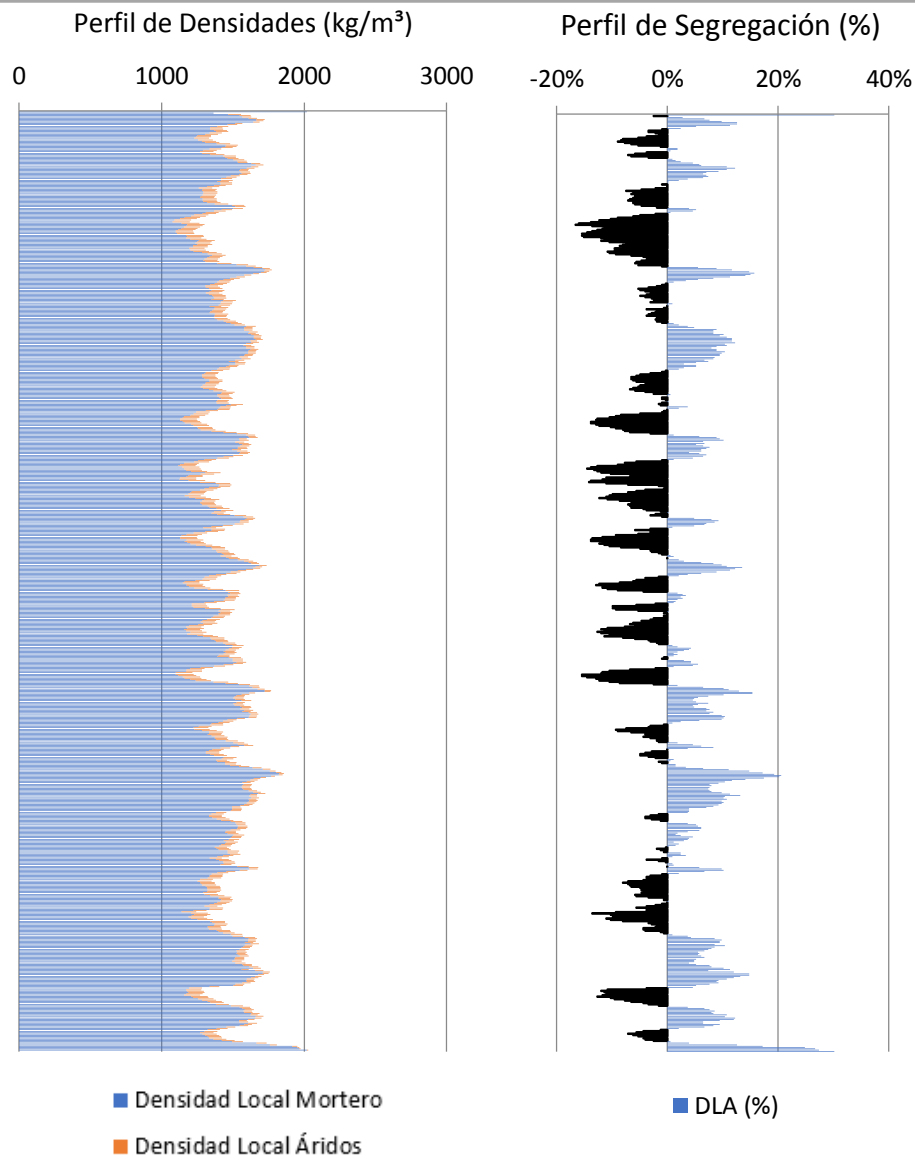
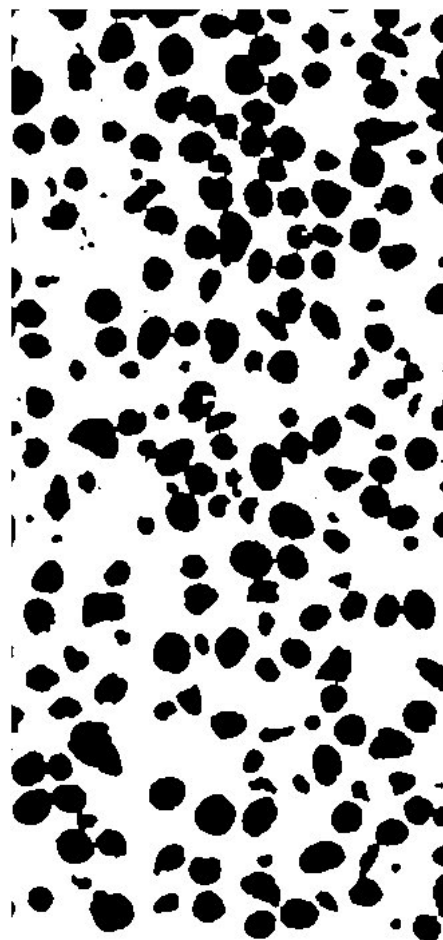
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V0C90A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	31%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	25699
Total de Ptos (2/3) =	22677
Total de Ptos (3/3) =	23374
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	19361
Total de Ptos (2/4) =	18717
Total de Ptos (3/4) =	17224
Total de Ptos (4/4) =	16344
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1469.932
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1425.256
D(2/4) =	1445.105
D(3/4) =	1491.122
D(4/4) =	1518.246
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.938752
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	9%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	16%



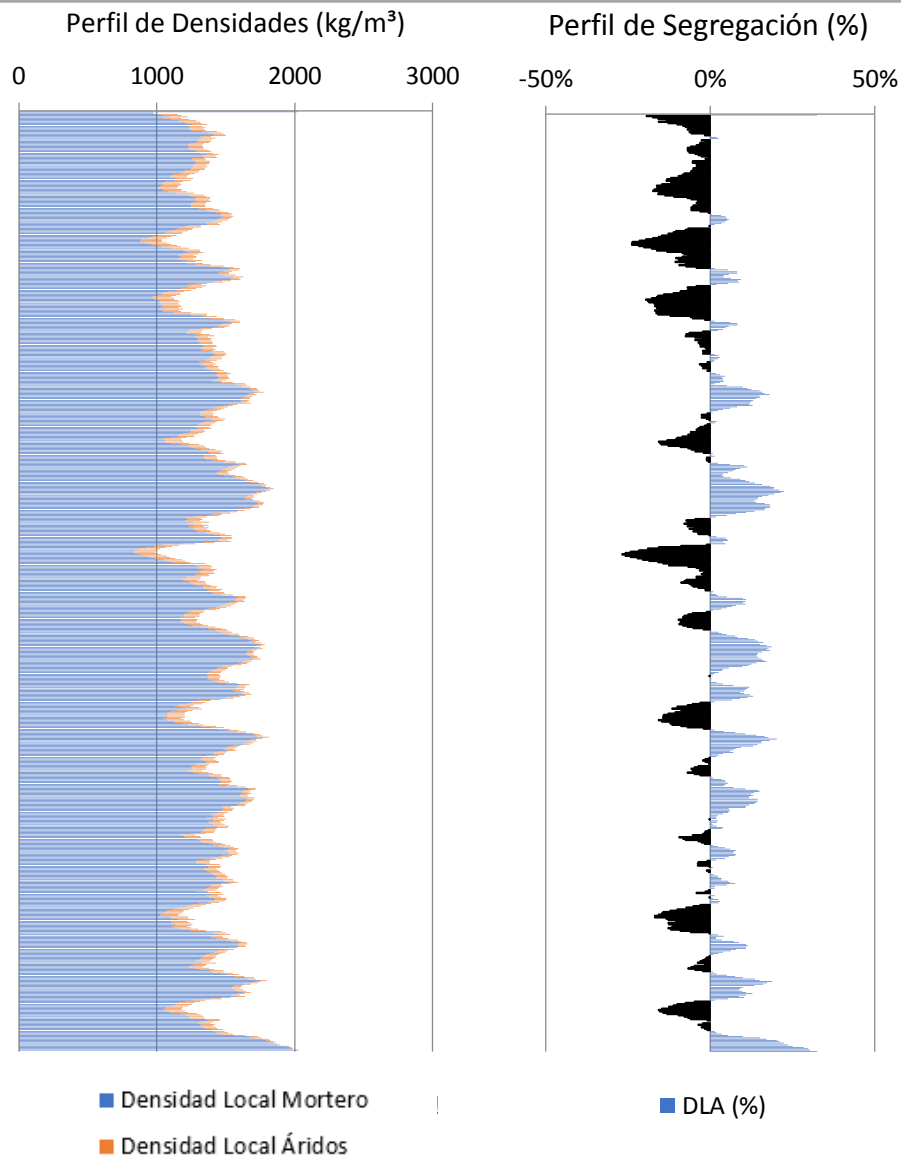
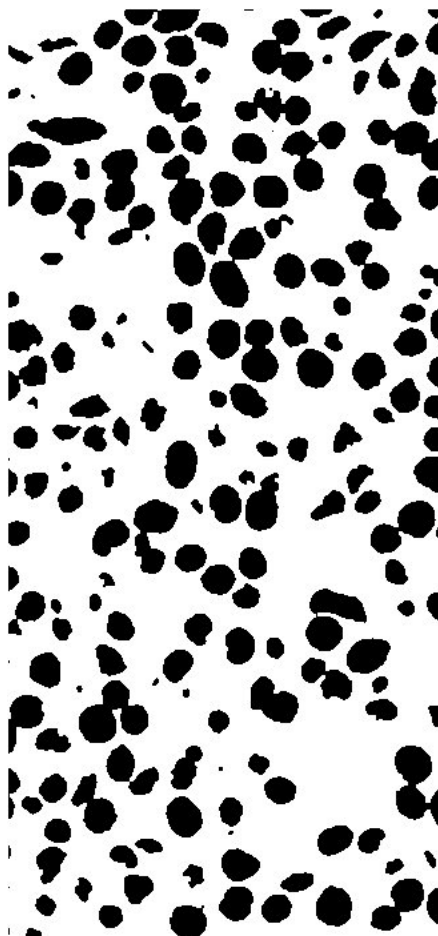
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700VOC90B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	30%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	23650
Total de Ptos (2/3) =	24372
Total de Ptos (3/3) =	20657
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	17569
Total de Ptos (2/4) =	18311
Total de Ptos (3/4) =	16552
Total de Ptos (4/4) =	16116
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1493.804
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1480.489
D(2/4) =	1457.619
D(3/4) =	1511.835
D(4/4) =	1525.273
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.970638
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	14%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	15%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

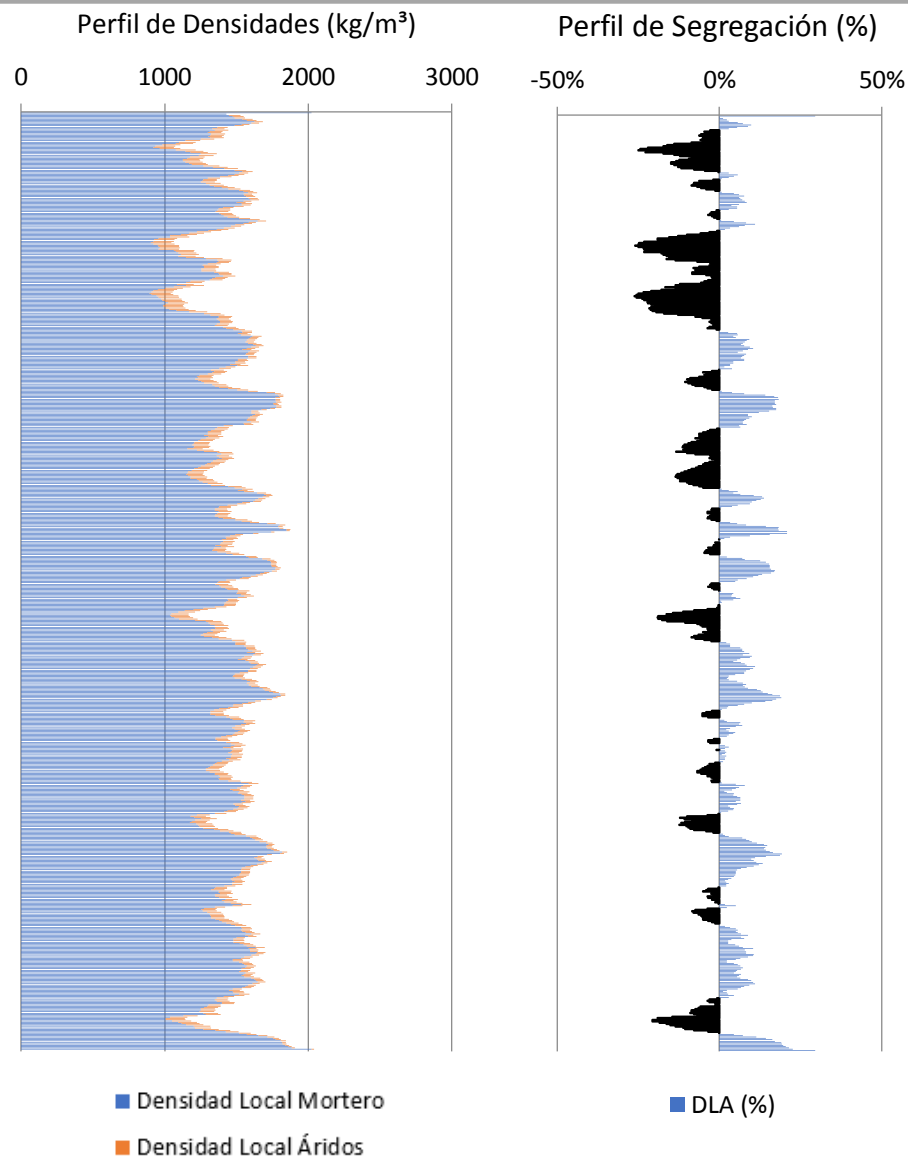
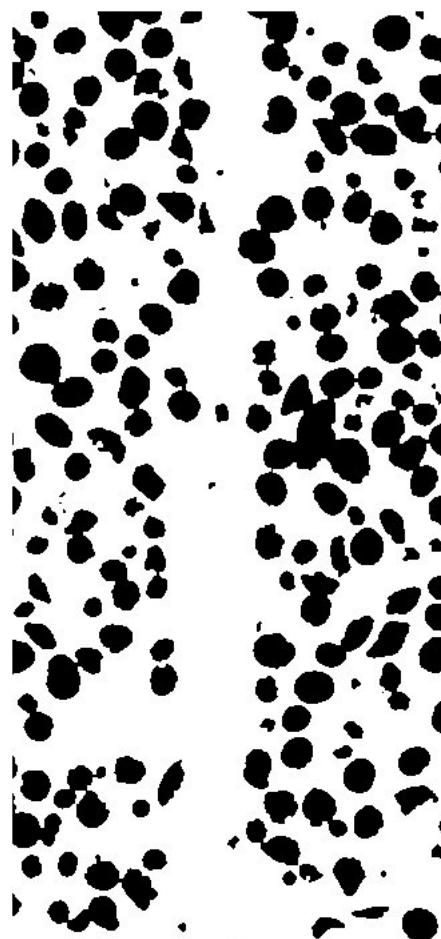
MUESTRA	
HLM1700V10C15A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	32%
CDL (%) =	8%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	27629
Total de Ptos (2/3) =	23661
Total de Ptos (3/3) =	22747
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	22189
Total de Ptos (2/4) =	17808
Total de Ptos (3/4) =	16208
Total de Ptos (4/4) =	17717
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1452.394
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1338.091
D(2/4) =	1473.122
D(3/4) =	1522.437
D(4/4) =	1475.927
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.906611
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	19%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	18%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

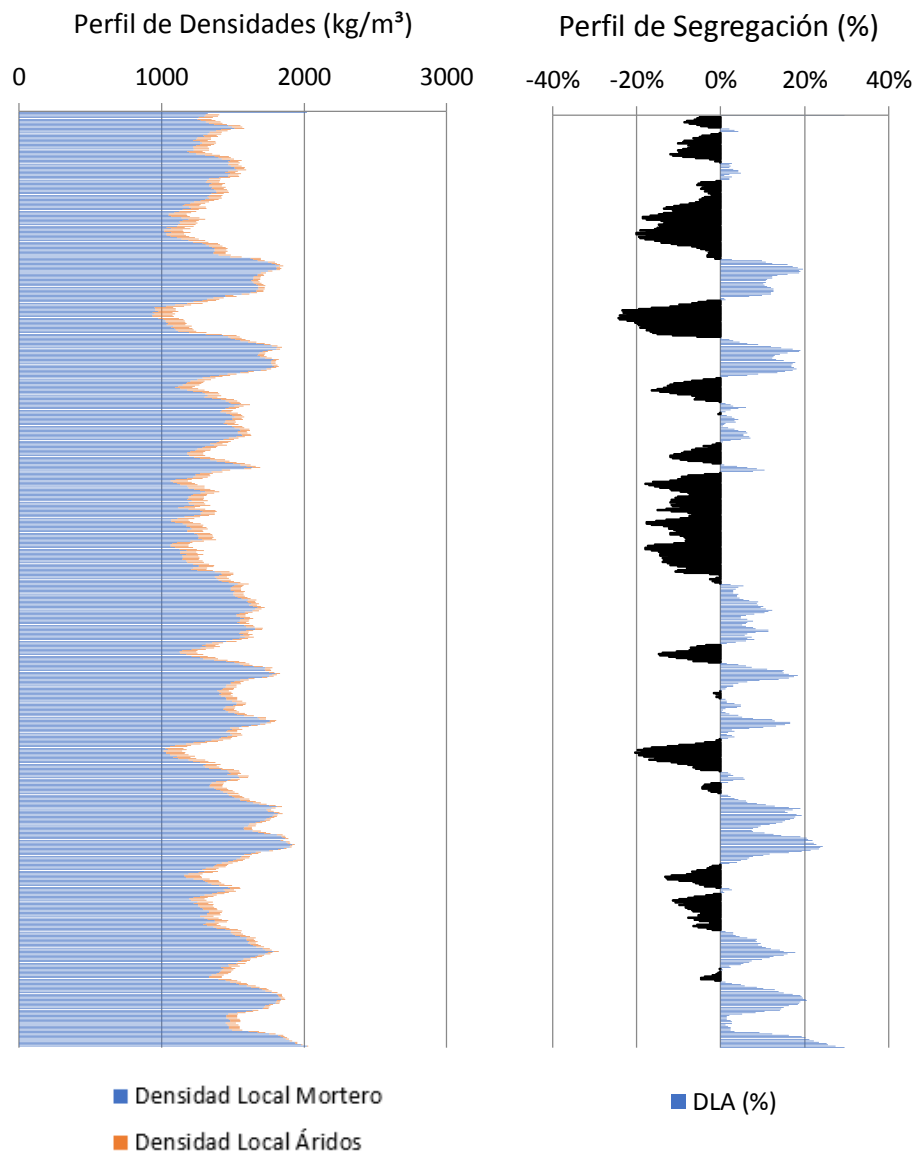
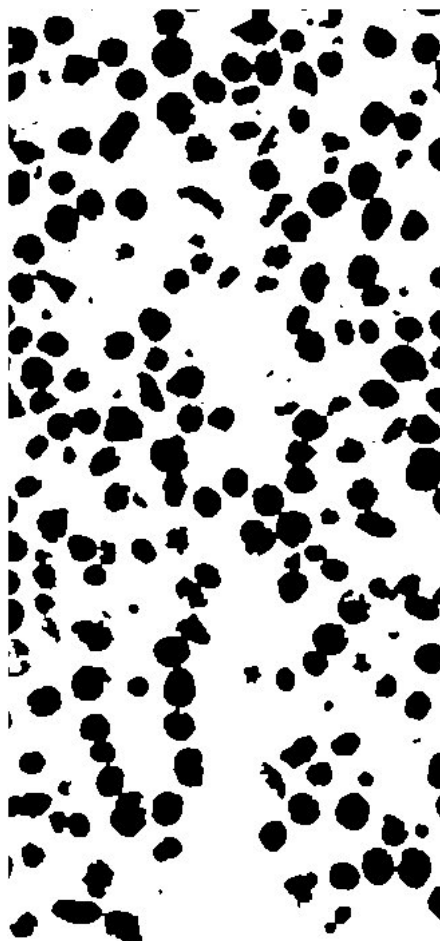


MUESTRA	
HLM1700V10C15B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	29%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	25024
Total de Ptos (2/3) =	21358
Total de Ptos (3/3) =	20703
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	20421
Total de Ptos (2/4) =	15411
Total de Ptos (3/4) =	15908
Total de Ptos (4/4) =	15270
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1505.655
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1392.584
D(2/4) =	1547.002
D(3/4) =	1531.684
D(4/4) =	1551.348
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.897661
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	19%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	19%



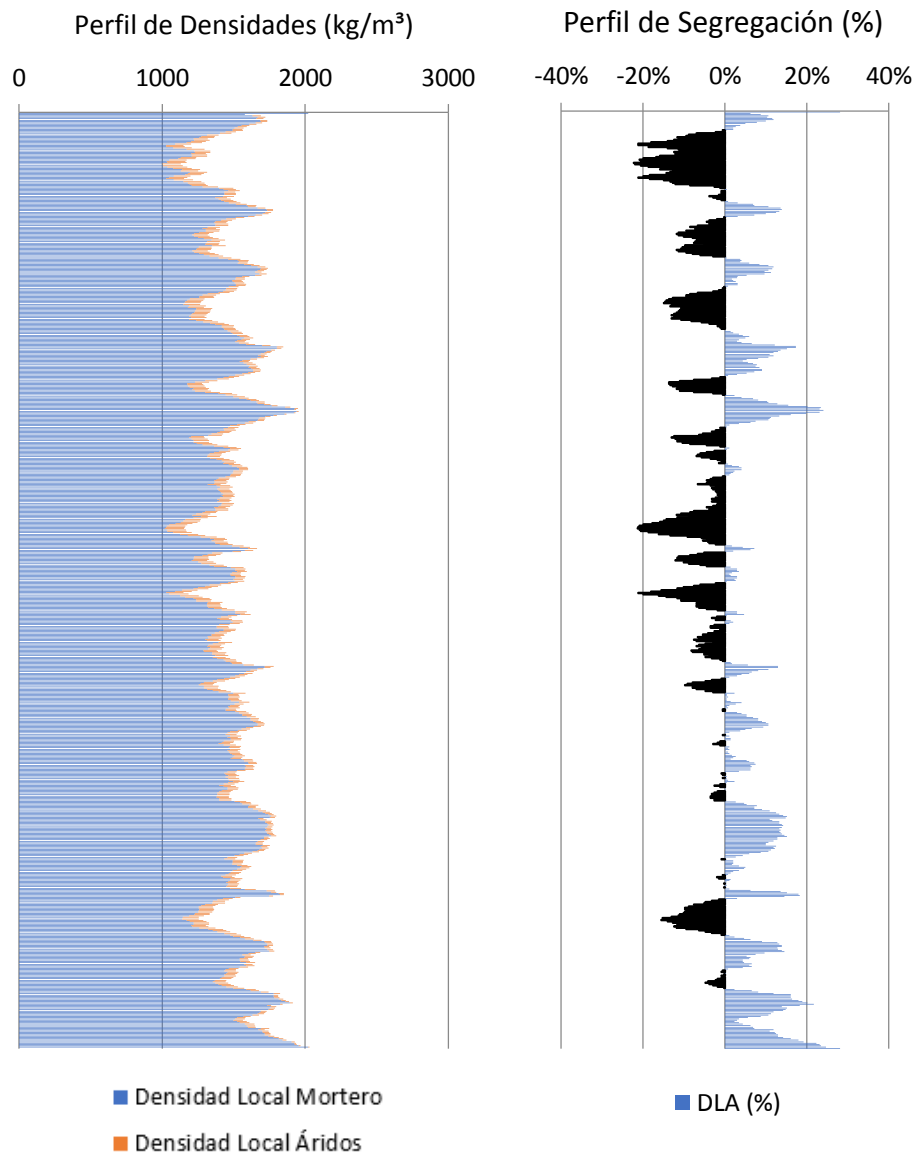
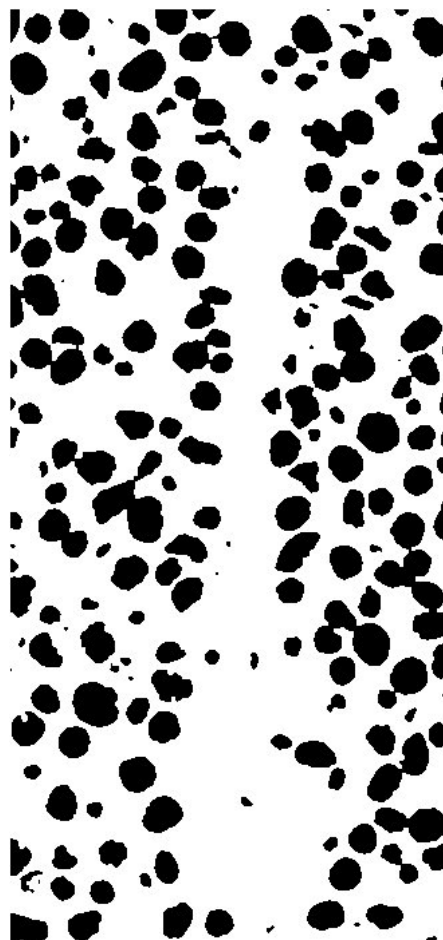
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V10C30A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<b>1.1 Distribución Global</b>	
IAG (%) =	30%
CDL (%) =	9%
<b>1.2 Distribución em 3 Zonas</b>	
Total de Ptos (1/3) =	24307
Total de Ptos (2/3) =	23690
Total de Ptos (3/3) =	19220
<b>1.3 Distribución em 4 Zonas</b>	
Total de Ptos (1/4) =	19282
Total de Ptos (2/4) =	19092
Total de Ptos (3/4) =	15489
Total de Ptos (4/4) =	13260
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<b>2.1 Mitades de Probeta</b>	
Dmp =	1504.784
<b>2.2 Cuartos de Probeta</b>	
D(1/4) =	1427.691
D(2/4) =	1433.547
D(3/4) =	1544.598
D(4/4) =	1613.301
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<b>3.1 Según Ke et al</b>	
IS (Ke) =	0.88495
<b>3.2 Según Navarrete et al</b>	
IS (Navarrete) =	23%
Concepto:	
<b>3.3 Según Solak</b>	
IS vertical (Solak) =	22%



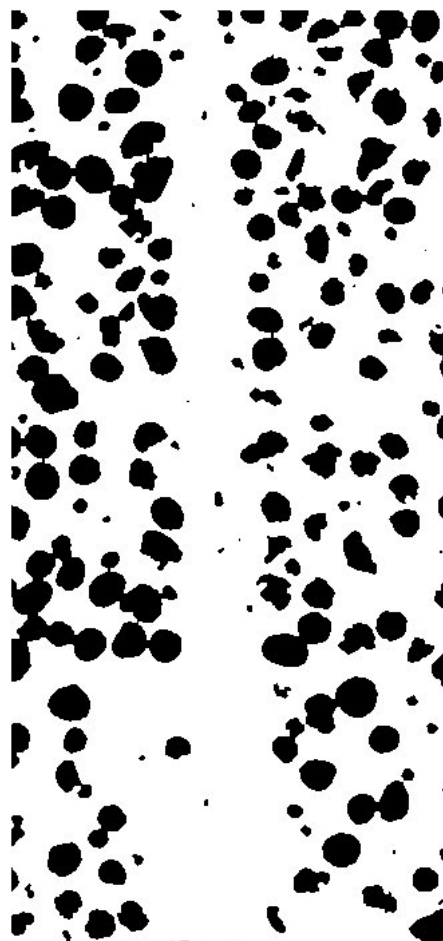
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V10C30B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	28%
CDL (%) =	8%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	22559
Total de Ptos (2/3) =	23931
Total de Ptos (3/3) =	17565
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	18376
Total de Ptos (2/4) =	16673
Total de Ptos (3/4) =	16277
Total de Ptos (4/4) =	12649
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1529.041
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1455.615
D(2/4) =	1508.105
D(3/4) =	1520.311
D(4/4) =	1632.133
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.891849
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	25%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	19%



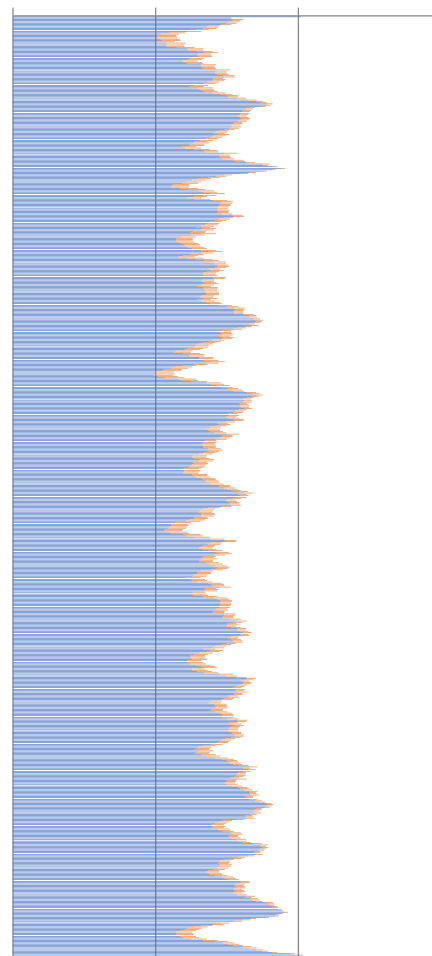
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V10C60A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	29%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	23560
Total de Ptos (2/3) =	24189
Total de Ptos (3/3) =	18740
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	17908
Total de Ptos (2/4) =	17894
Total de Ptos (3/4) =	17392
Total de Ptos (4/4) =	13219
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1510.255
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1470.04
D(2/4) =	1470.472
D(3/4) =	1485.944
D(4/4) =	1614.564
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.910487
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	23%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	17%



Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)

0 1000 2000 3000

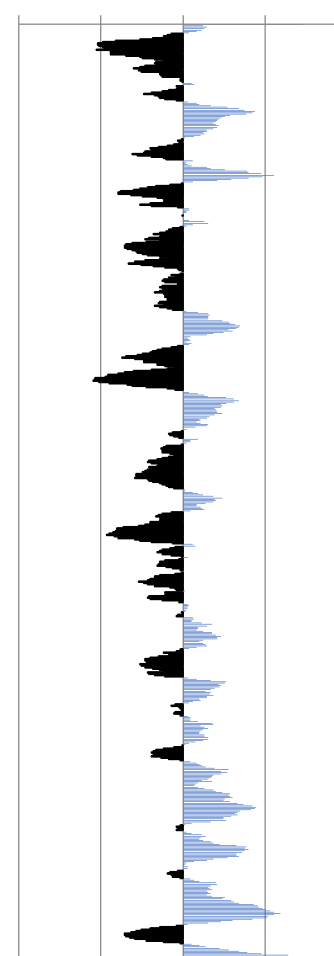


■ Densidad Local Mortero

■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)

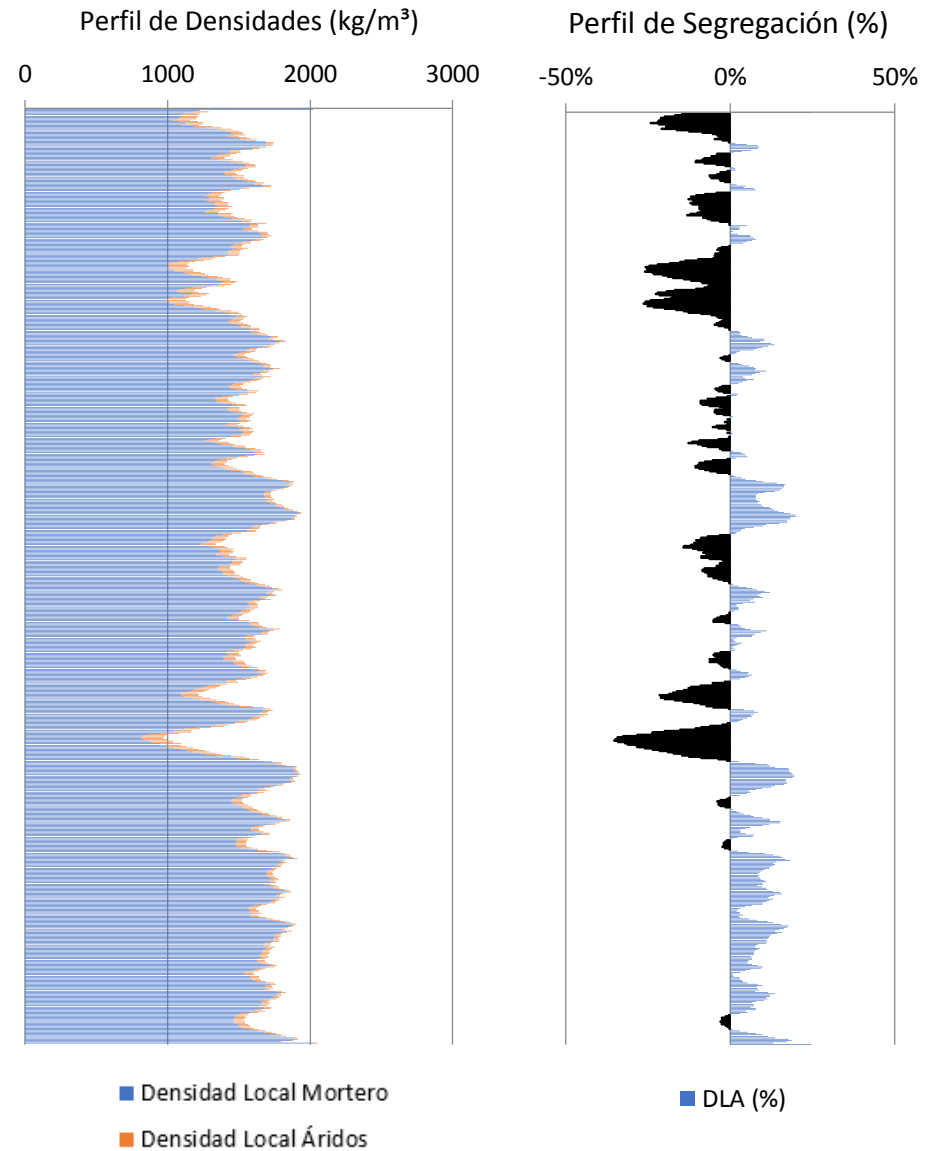
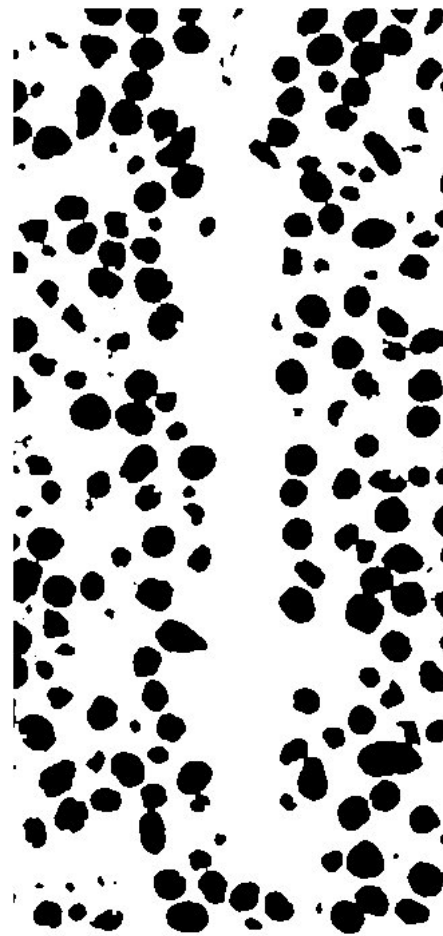
-40% -20% 0% 20% 40%



■ DLA (%)

‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

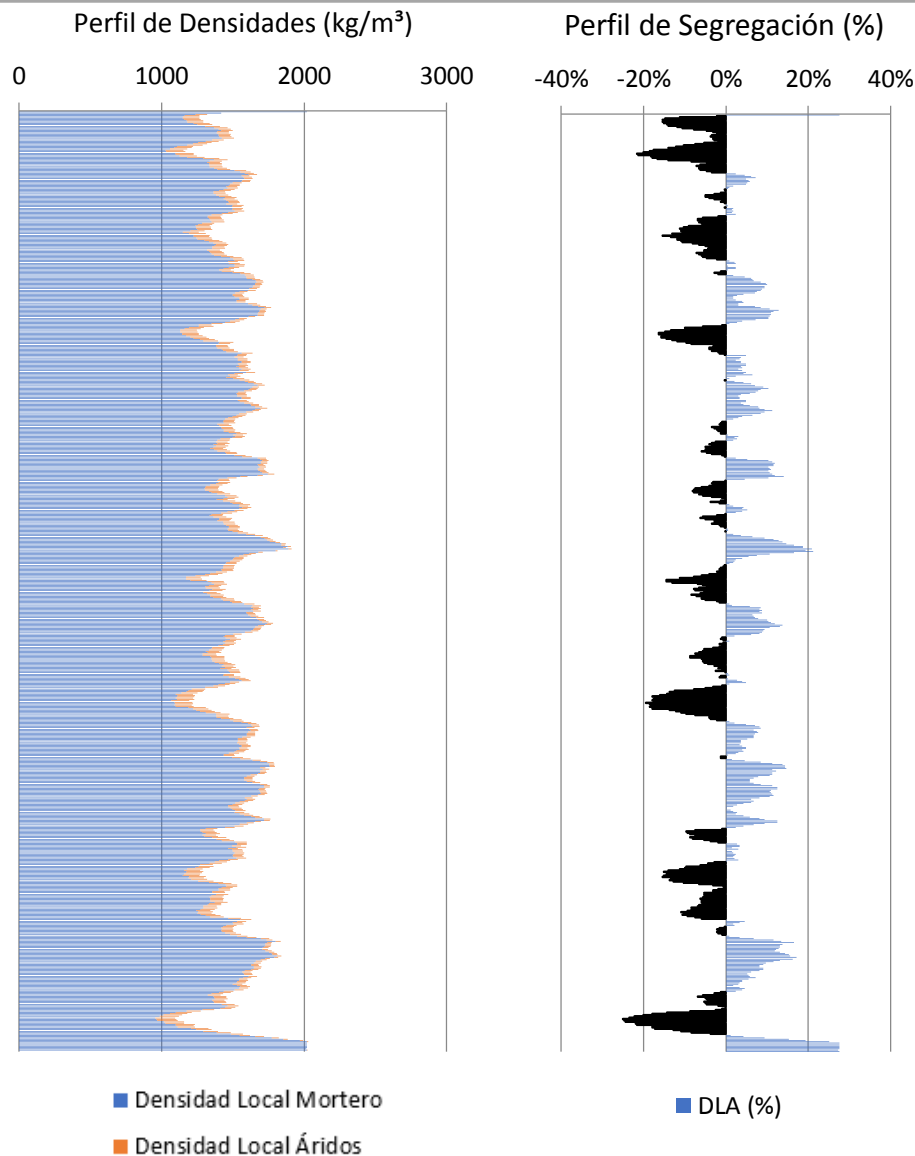
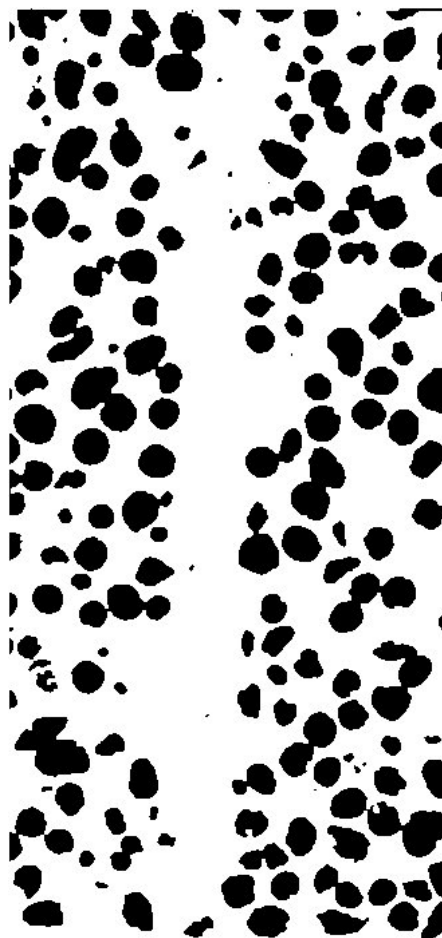
MUESTRA	
HLM1700V10C60B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	25%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	22658
Total de Ptos (2/3) =	19057
Total de Ptos (3/3) =	14723
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	18019
Total de Ptos (2/4) =	13671
Total de Ptos (3/4) =	15062
Total de Ptos (4/4) =	9604
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1587.749
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1466.619
D(2/4) =	1600.633
D(3/4) =	1557.759
D(4/4) =	1725.986
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.849728
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	42%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	23%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

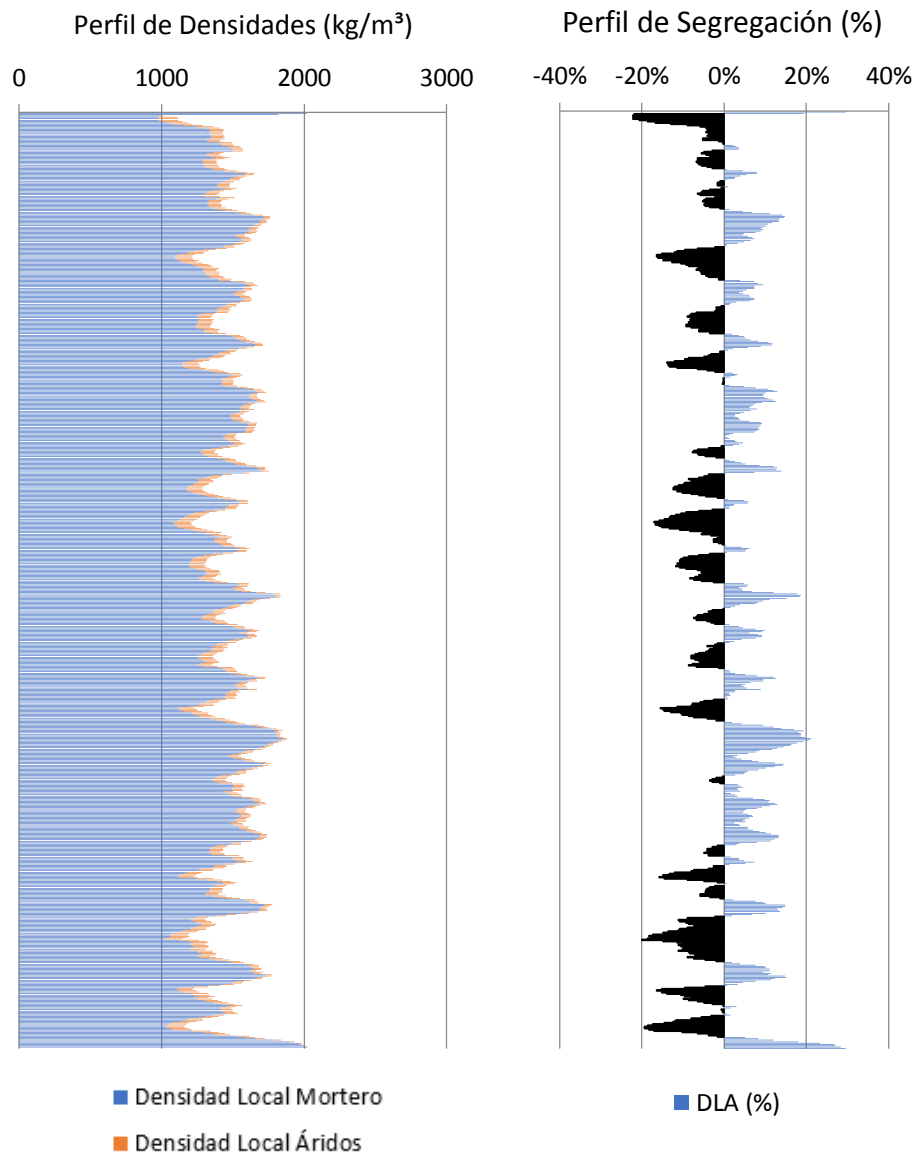
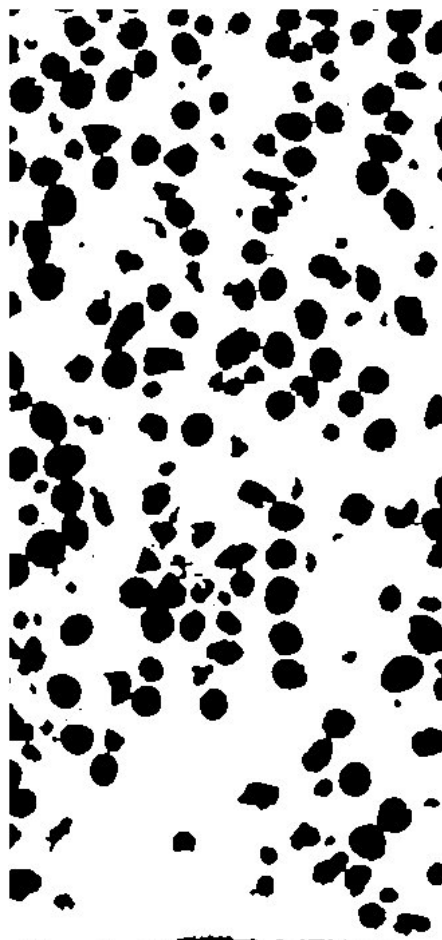


MUESTRA	
HLM1700V10C90A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	28%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	22100
Total de Ptos (2/3) =	21010
Total de Ptos (3/3) =	19808
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	17517
Total de Ptos (2/4) =	14329
Total de Ptos (3/4) =	15123
Total de Ptos (4/4) =	15848
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1537.964
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1482.091
D(2/4) =	1580.352
D(3/4) =	1555.879
D(4/4) =	1533.533
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.966455
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	11%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	18%



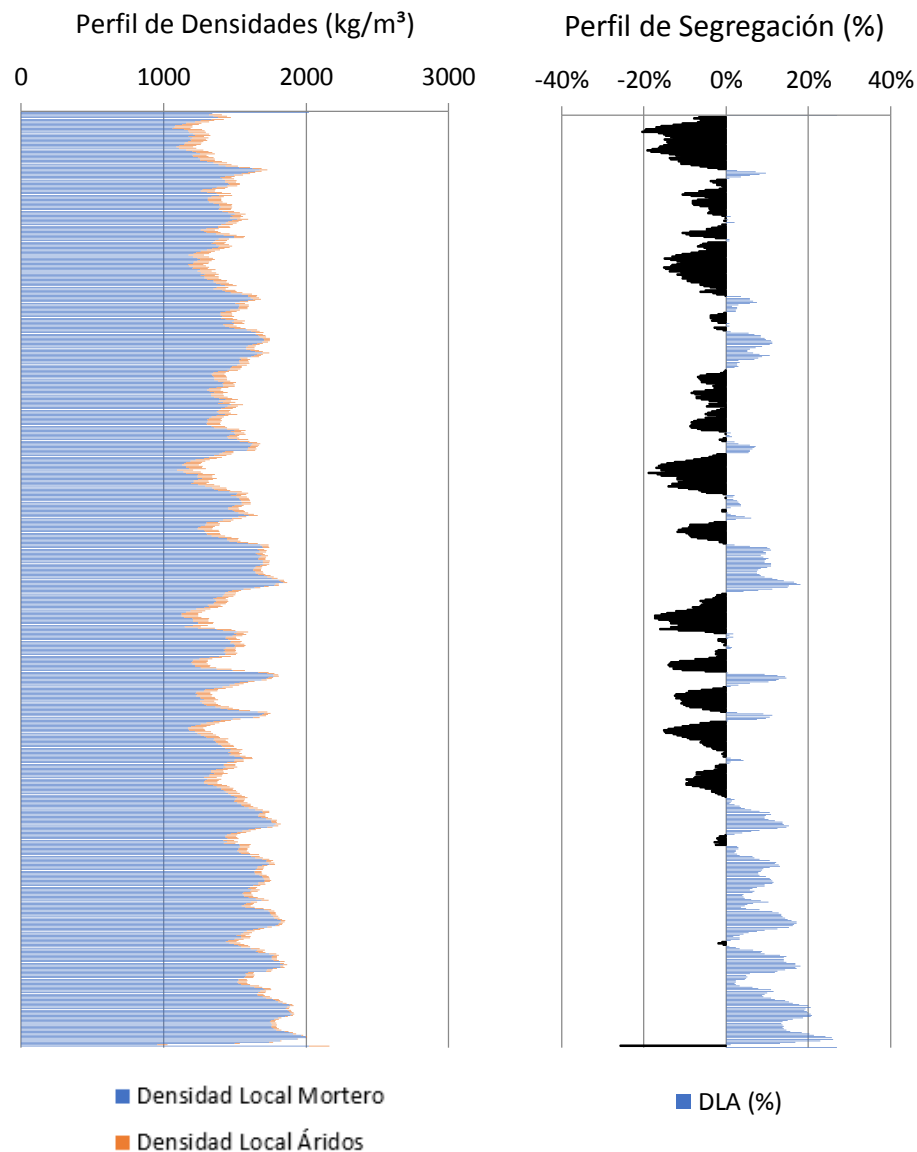
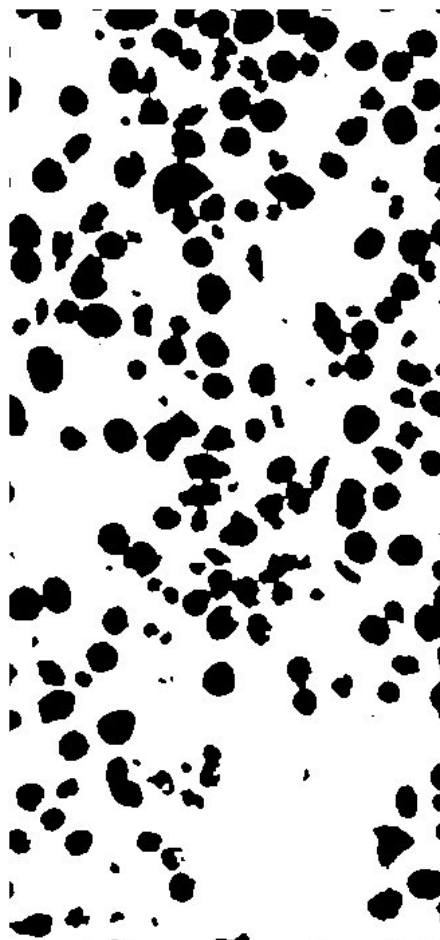
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V10C90B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	30%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	22685
Total de Ptos (2/3) =	23037
Total de Ptos (3/3) =	21522
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	17446
Total de Ptos (2/4) =	17654
Total de Ptos (3/4) =	14684
Total de Ptos (4/4) =	17394
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1504.36
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1484.28
D(2/4) =	1477.869
D(3/4) =	1569.41
D(4/4) =	1485.883
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.998921
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	5%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	18%



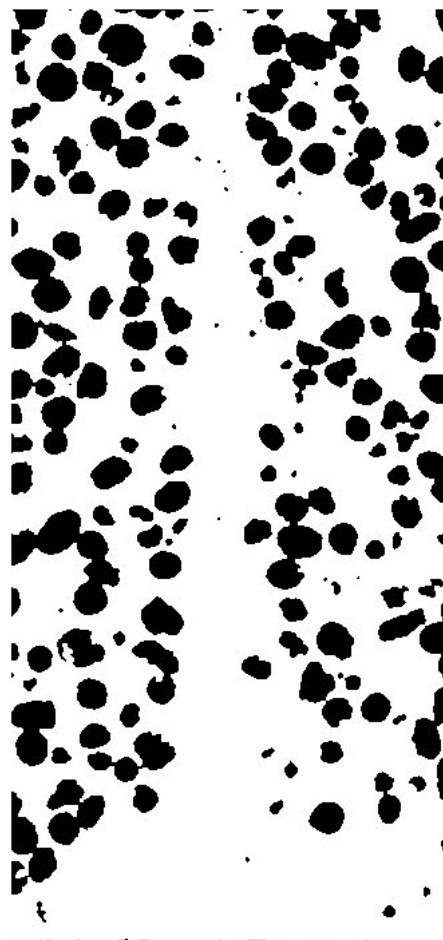
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V20C15A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	27%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	23735
Total de Ptos (2/3) =	22472
Total de Ptos (3/3) =	15233
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	18147
Total de Ptos (2/4) =	16191
Total de Ptos (3/4) =	17232
Total de Ptos (4/4) =	9754
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1549.468
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1462.674
D(2/4) =	1522.961
D(3/4) =	1490.876
D(4/4) =	1721.362
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.849719
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	44%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	20%

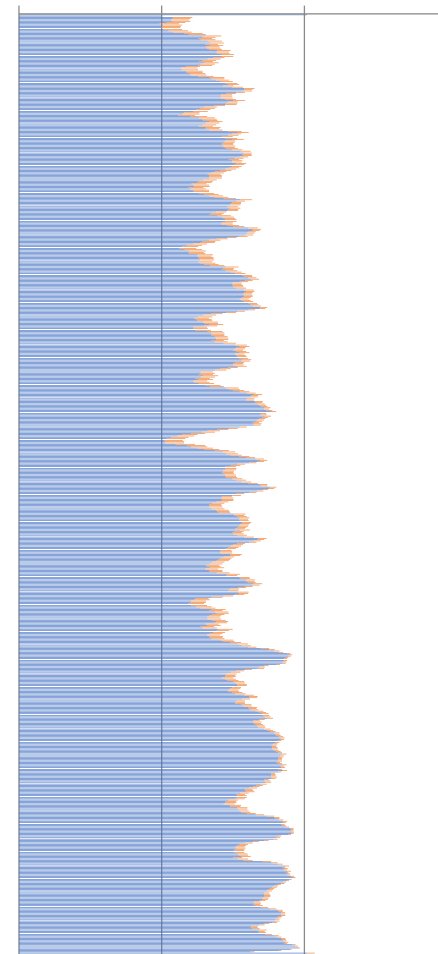


‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V20C15B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	25%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	24317
Total de Ptos (2/3) =	21536
Total de Ptos (3/3) =	11725
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	18756
Total de Ptos (2/4) =	16128
Total de Ptos (3/4) =	14587
Total de Ptos (4/4) =	7979
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1579.319
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1443.903
D(2/4) =	1524.903
D(3/4) =	1572.4
D(4/4) =	1776.071
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.812976
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	70%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	22%


Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)

0 1000 2000 3000

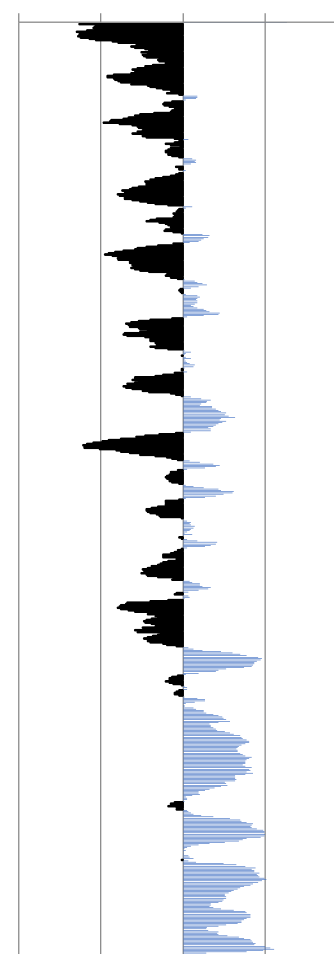


■ Densidad Local Mortero

■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)

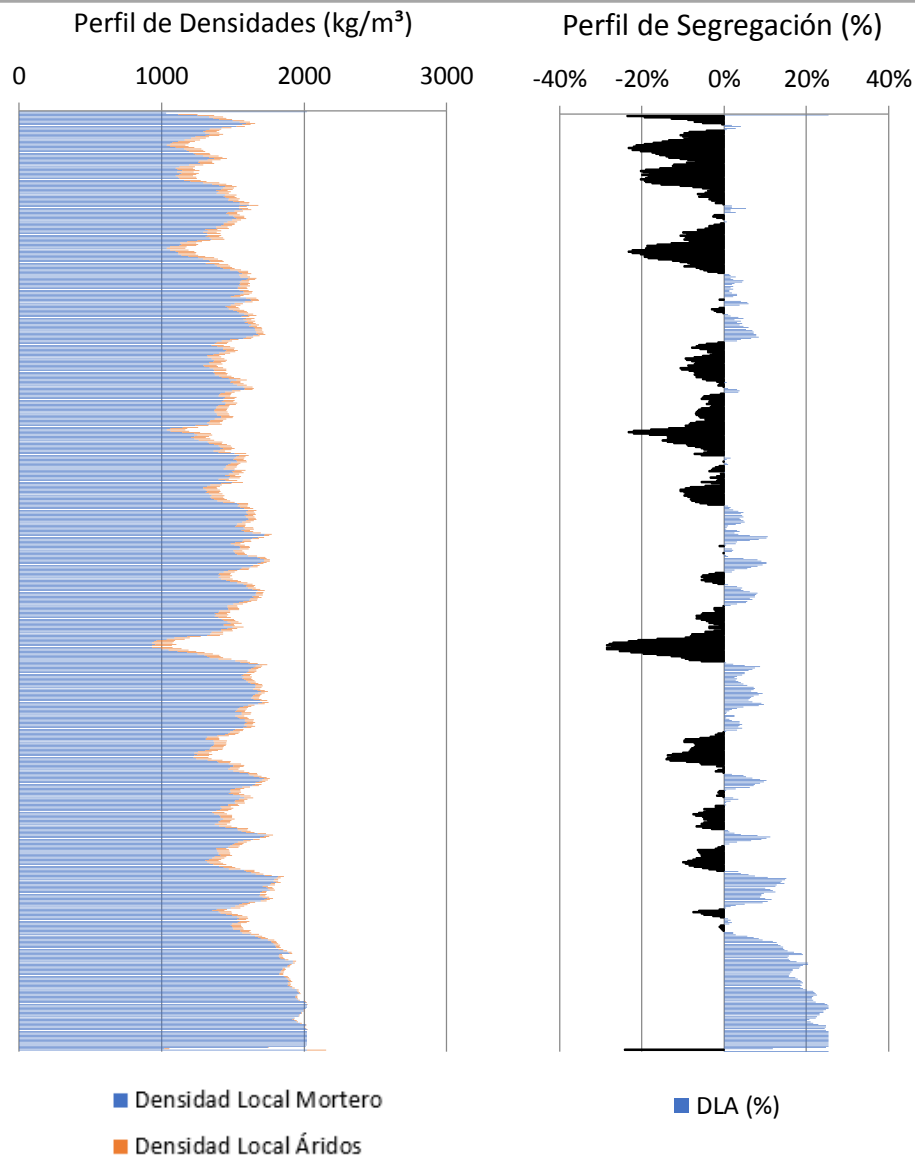
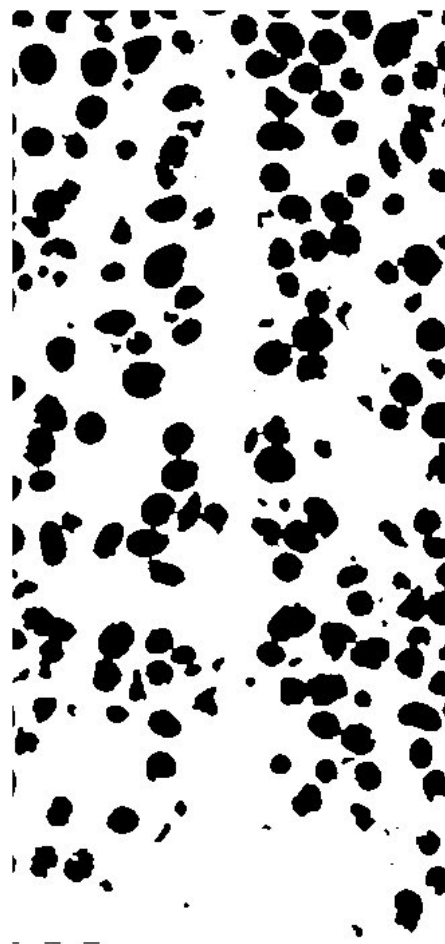
-40% -20% 0% 20% 40%



■ DLA (%)

‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

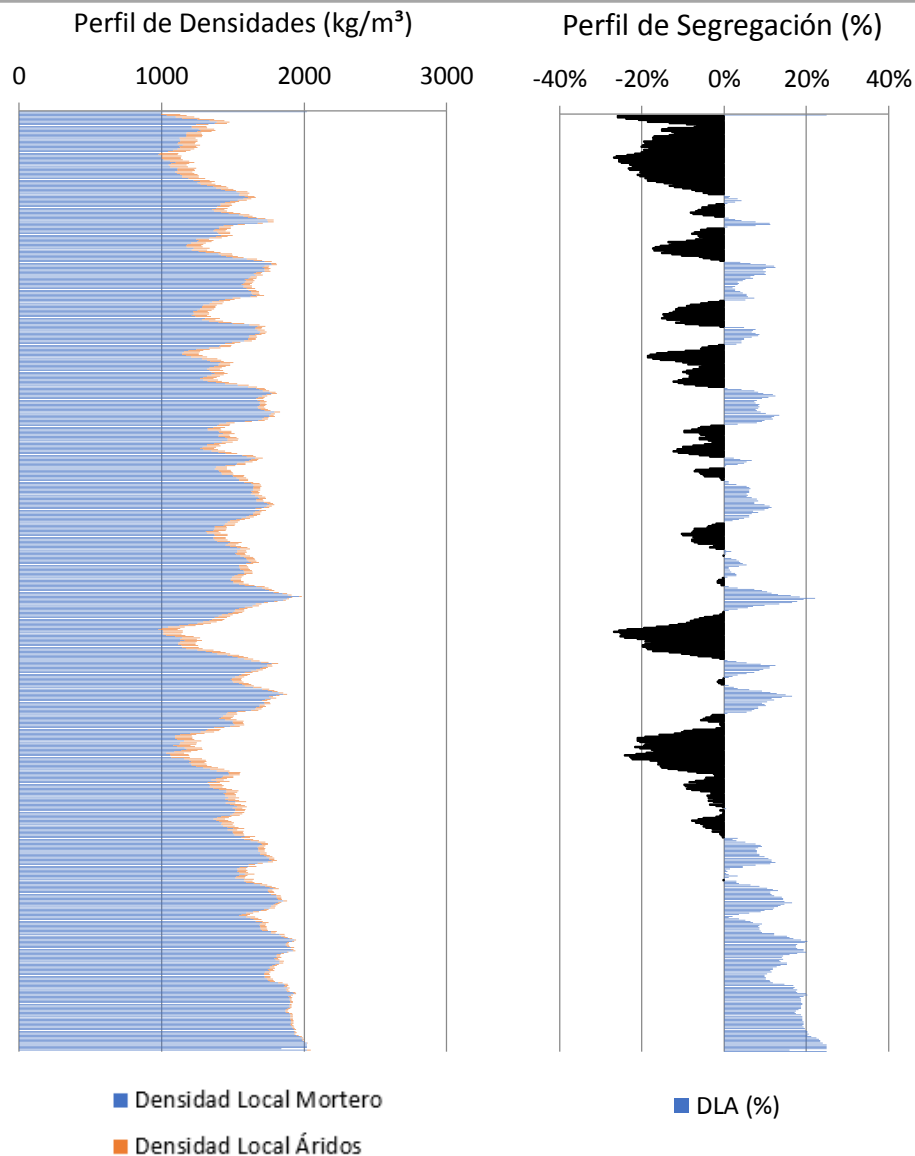
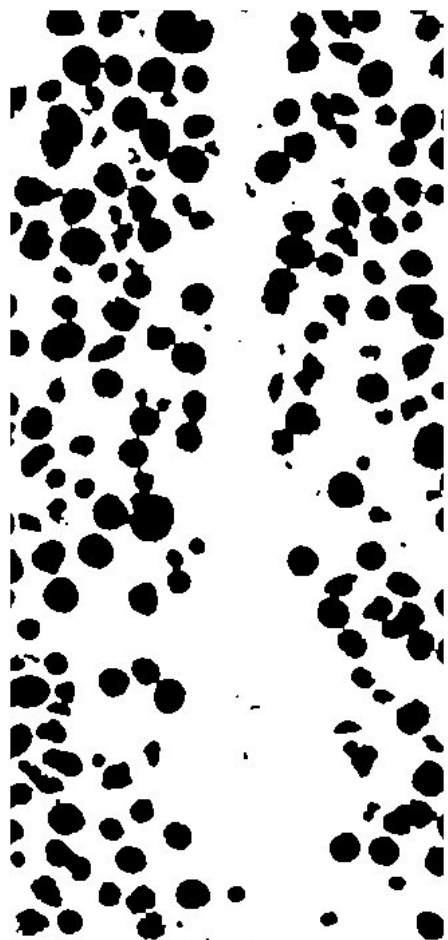
MUESTRA	
HLM1700V20C30A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	25%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	23531
Total de Ptos (2/3) =	20574
Total de Ptos (3/3) =	13680
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	17708
Total de Ptos (2/4) =	16147
Total de Ptos (3/4) =	15400
Total de Ptos (4/4) =	8419
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1577.593
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1476.204
D(2/4) =	1524.318
D(3/4) =	1547.342
D(4/4) =	1762.51
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.837558
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	53%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	22%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

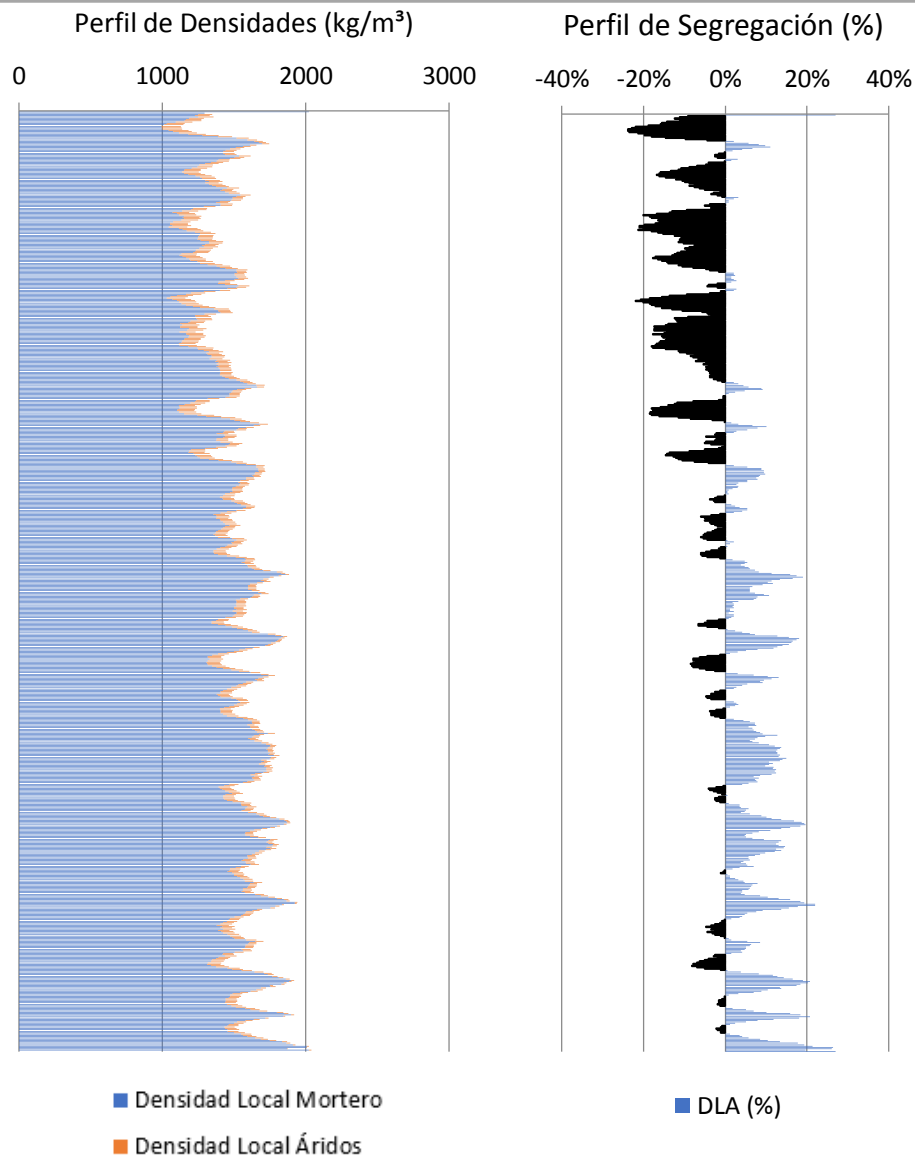
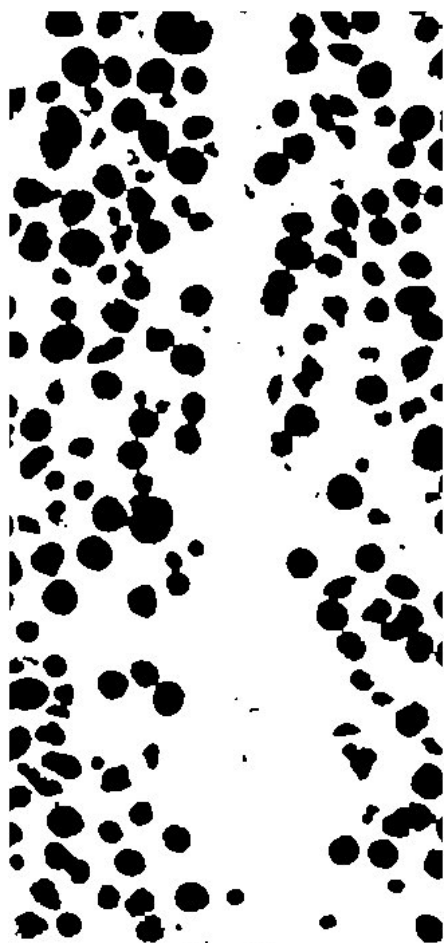


MUESTRA	
HLM1700V20C30B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	25%
CDL (%) =	10%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	23019
Total de Ptos (2/3) =	19631
Total de Ptos (3/3) =	13985
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	18032
Total de Ptos (2/4) =	14519
Total de Ptos (3/4) =	16526
Total de Ptos (4/4) =	7459
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1586.362
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1466.218
D(2/4) =	1574.496
D(3/4) =	1512.636
D(4/4) =	1792.099
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.818157
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	49%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	26%



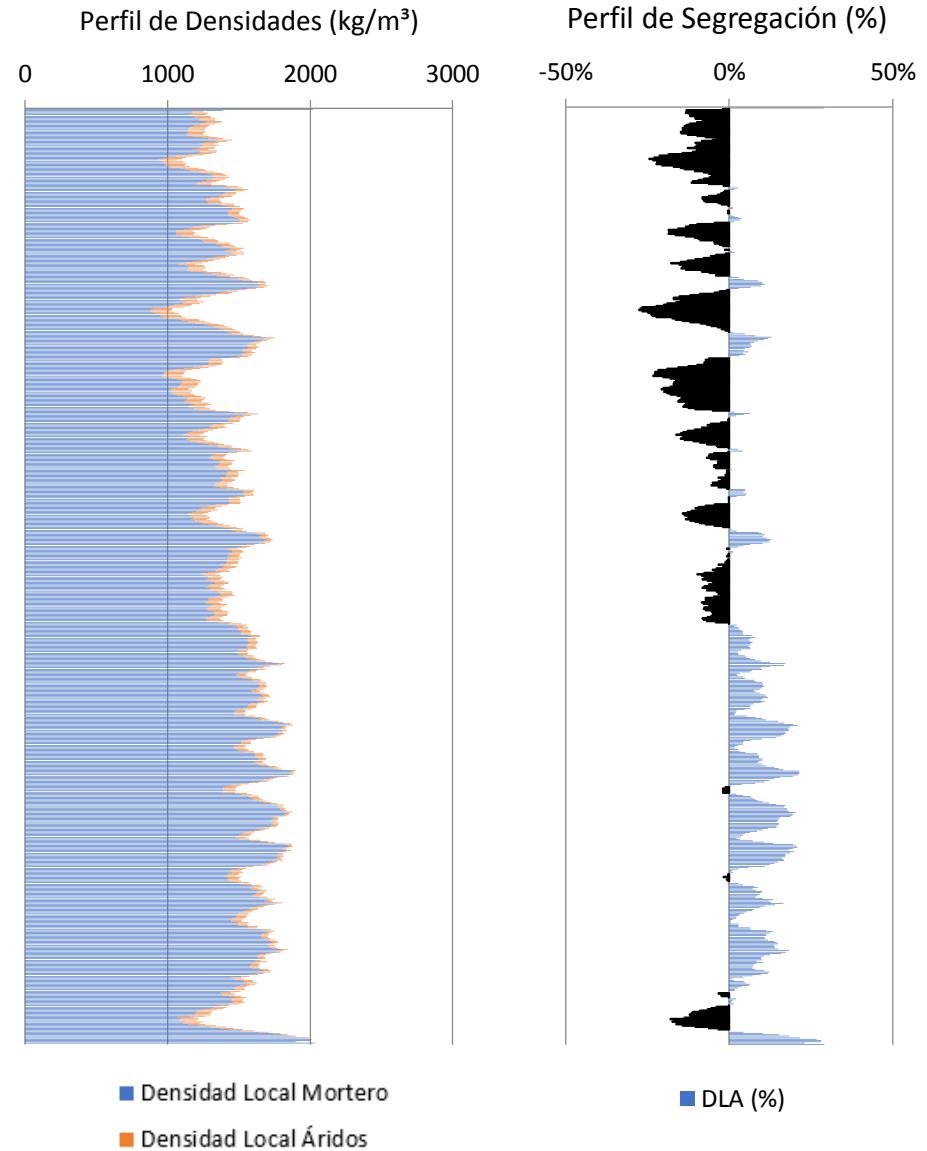
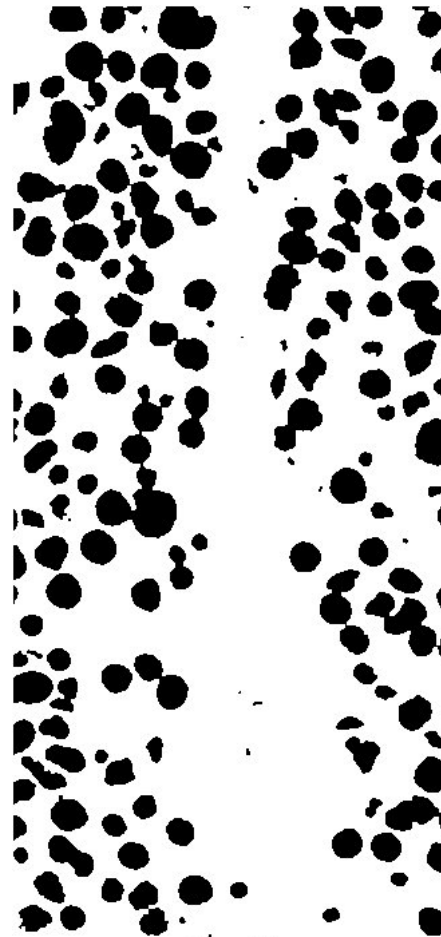
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V20C60A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	27%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	26982
Total de Ptos (2/3) =	19074
Total de Ptos (3/3) =	15337
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	20850
Total de Ptos (2/4) =	16112
Total de Ptos (3/4) =	12848
Total de Ptos (4/4) =	11528
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1549.36
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1379.362
D(2/4) =	1525.396
D(3/4) =	1625.999
D(4/4) =	1666.684
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.827608
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	55%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	20%



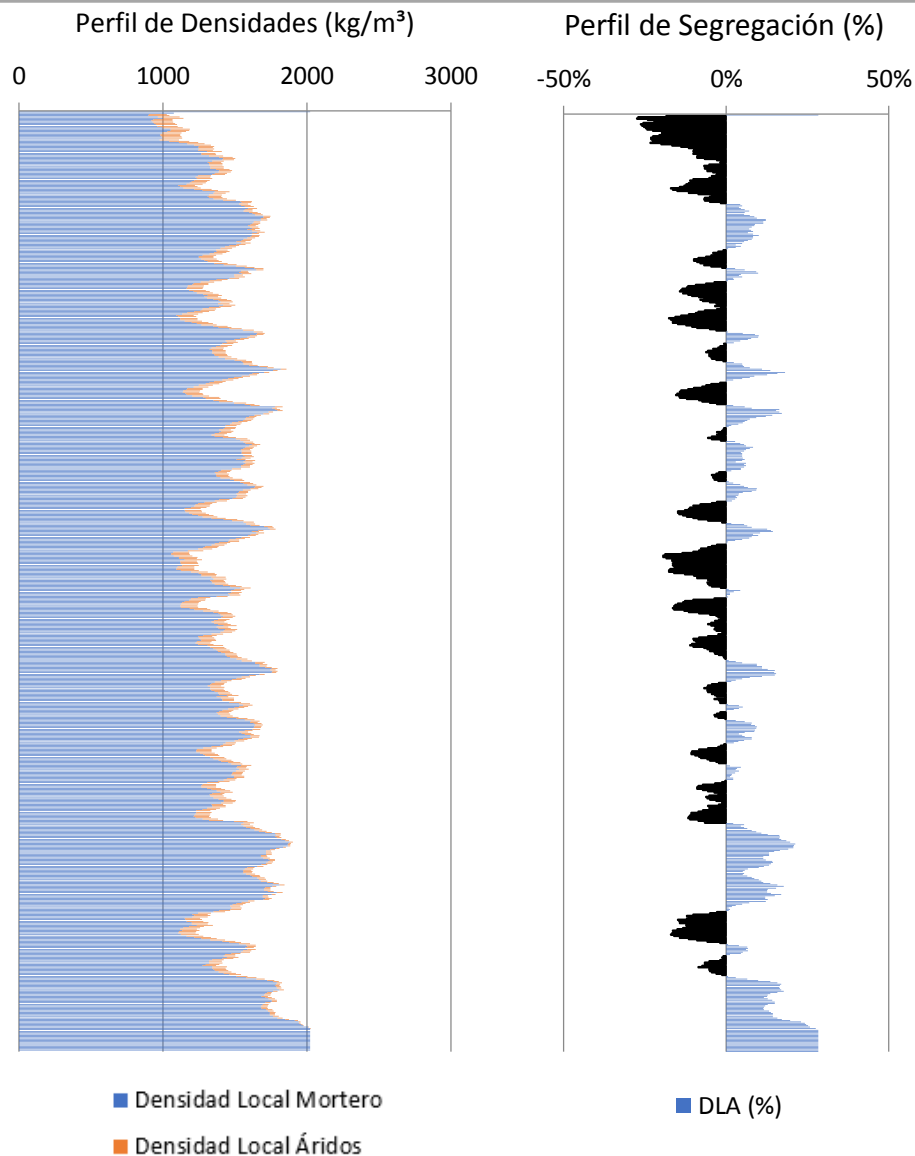
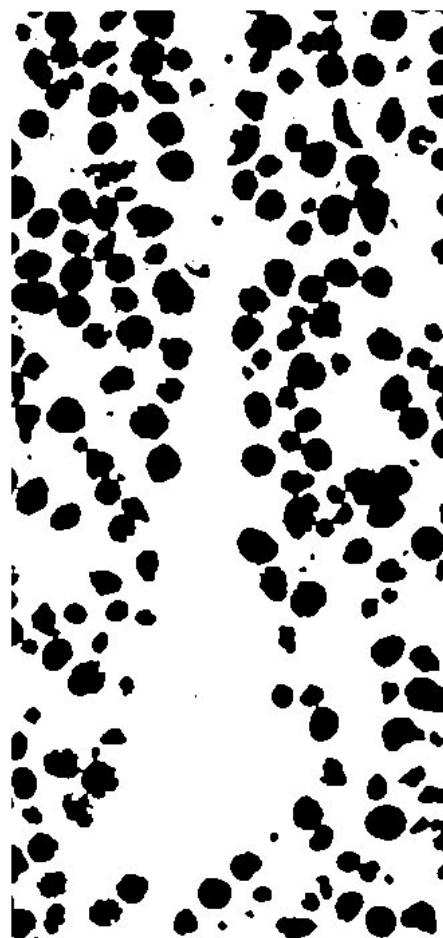
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V20C60B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	29%
CDL (%) =	9%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	28456
Total de Ptos (2/3) =	21822
Total de Ptos (3/3) =	16042
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	21116
Total de Ptos (2/4) =	19458
Total de Ptos (3/4) =	13288
Total de Ptos (4/4) =	12362
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1511.711
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1371.163
D(2/4) =	1422.266
D(3/4) =	1612.438
D(4/4) =	1640.979
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.835576
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	56%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	22%



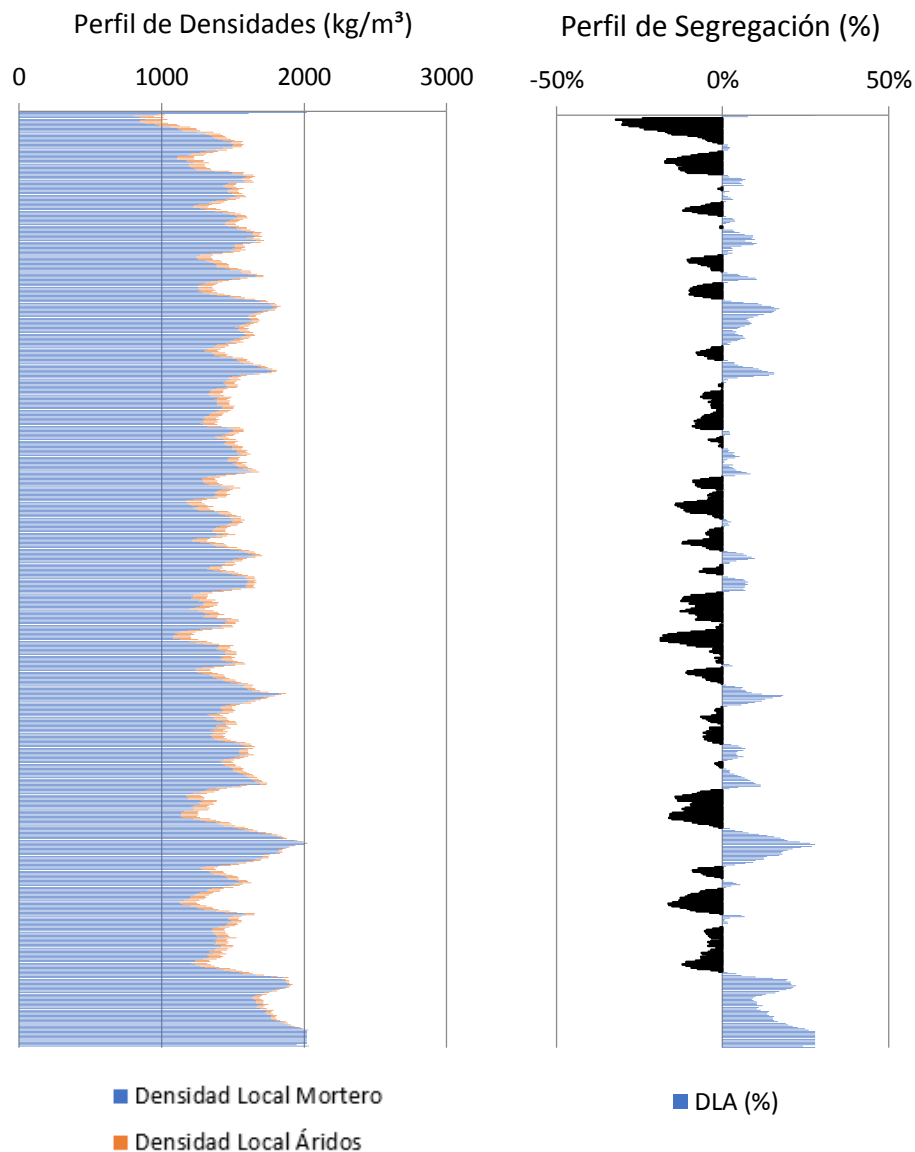
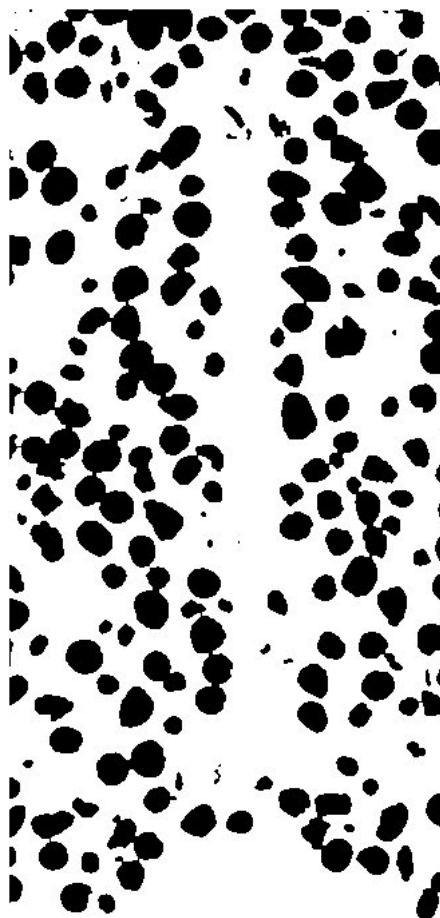
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V20C90A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	28%
CDL (%) =	9%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	24385
Total de Ptos (2/3) =	22779
Total de Ptos (3/3) =	17252
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	19151
Total de Ptos (2/4) =	16772
Total de Ptos (3/4) =	17186
Total de Ptos (4/4) =	11218
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1526.329
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1431.728
D(2/4) =	1505.054
D(3/4) =	1492.293
D(4/4) =	1676.239
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.854131
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	34%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	22%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

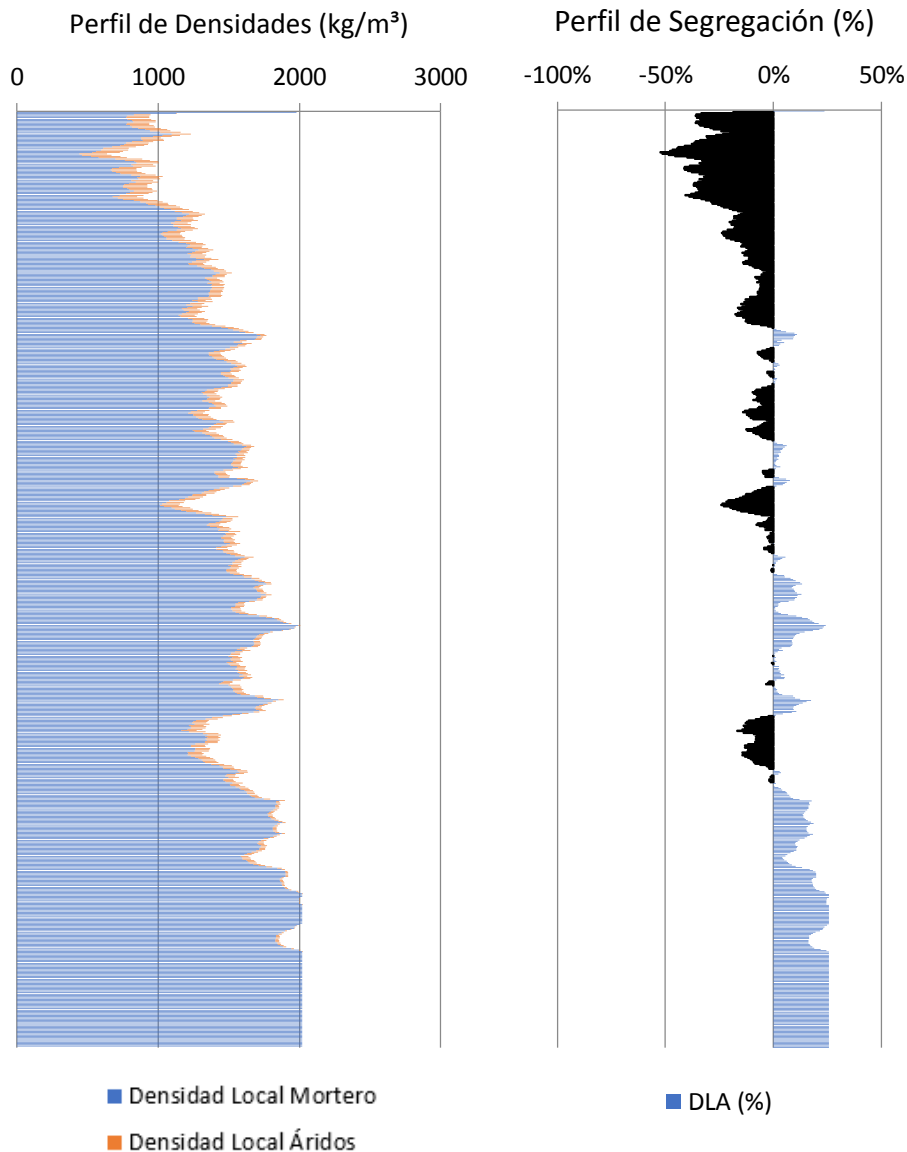
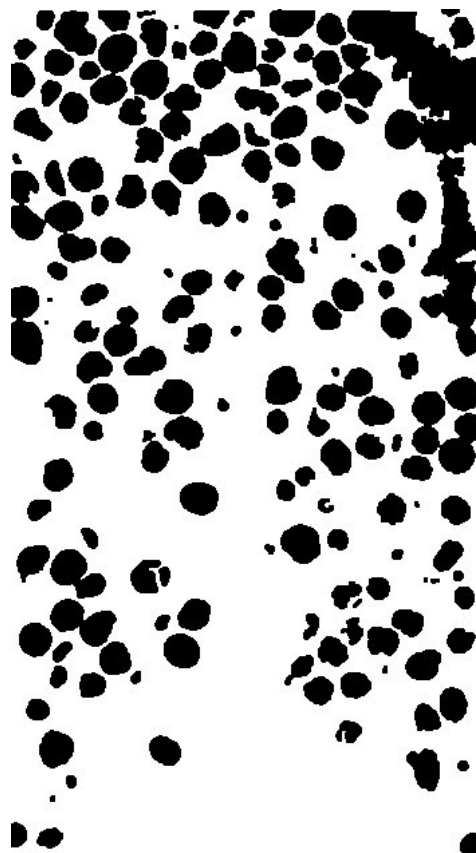
MUESTRA	
HLM1700V20C90B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	28%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	22208
Total de Ptos (2/3) =	22989
Total de Ptos (3/3) =	18245
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	16688
Total de Ptos (2/4) =	16677
Total de Ptos (3/4) =	17224
Total de Ptos (4/4) =	12733
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1534.073
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1507.643
D(2/4) =	1507.982
D(3/4) =	1491.122
D(4/4) =	1629.544
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.925193
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	20%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	19%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

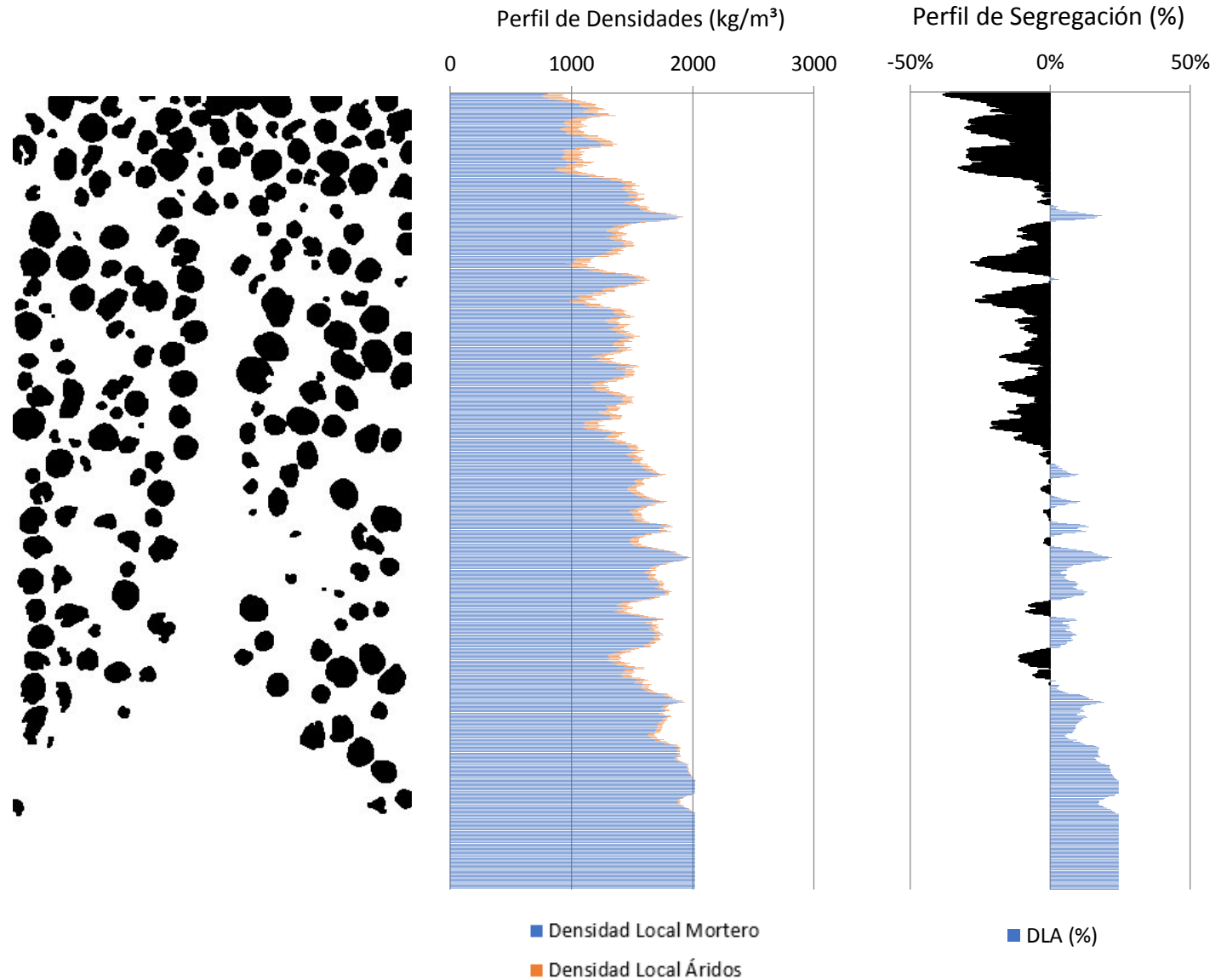


MUESTRA	
HLM1700V40C15A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	26%
CDL (%) =	14%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	32101
Total de Ptos (2/3) =	18925
Total de Ptos (3/3) =	7558
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	26301
Total de Ptos (2/4) =	16750
Total de Ptos (3/4) =	12773
Total de Ptos (4/4) =	2662
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1571.336
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1211.351
D(2/4) =	1505.732
D(3/4) =	1628.311
D(4/4) =	1939.952
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.624423
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	124%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	37%



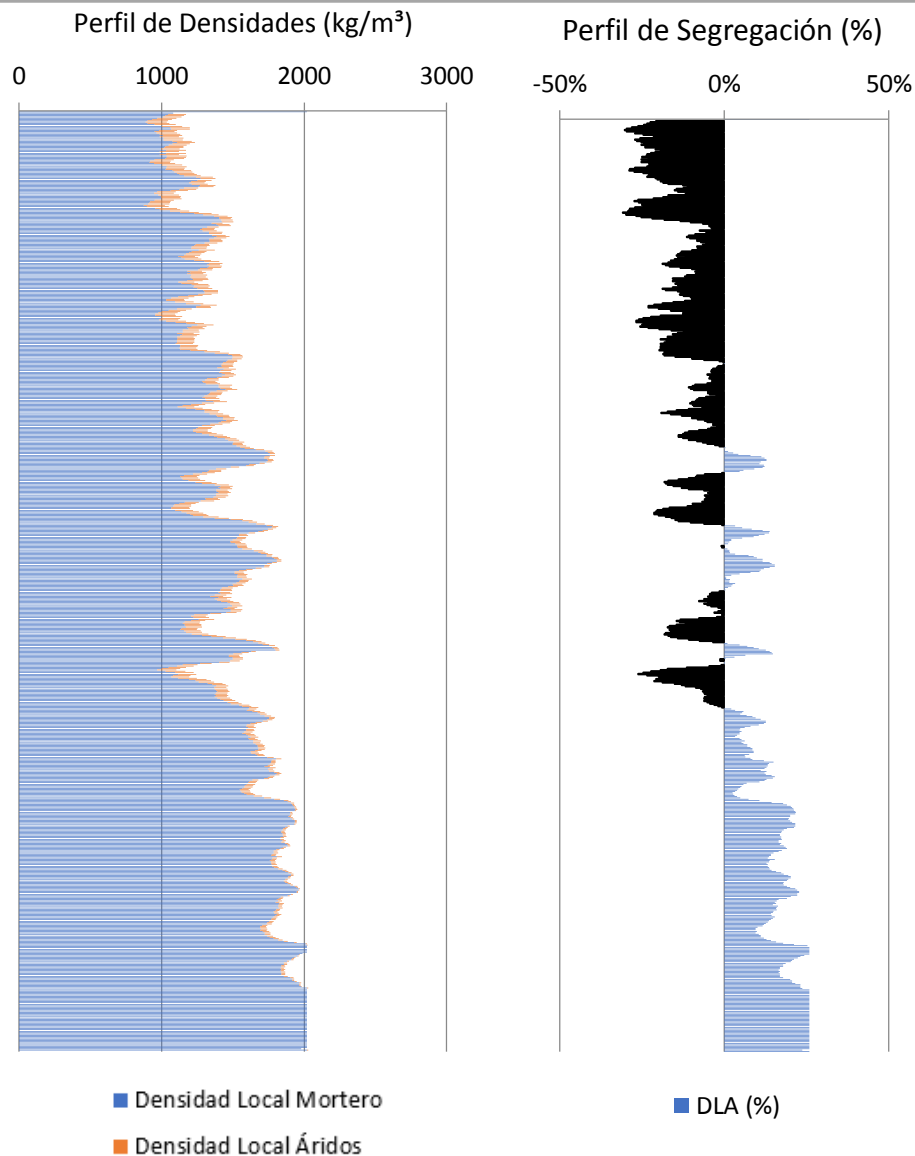
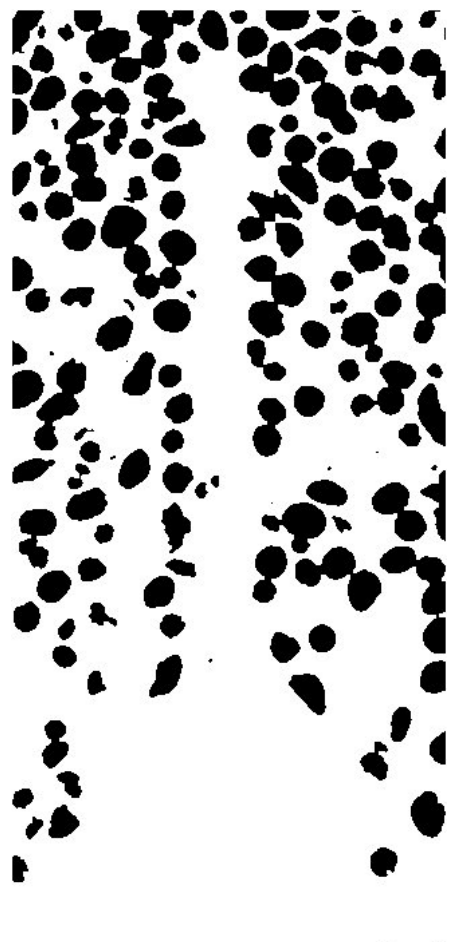
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V40C15B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	25%
CDL (%) =	13%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	29080
Total de Ptos (2/3) =	19415
Total de Ptos (3/3) =	7630
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	22131
Total de Ptos (2/4) =	18854
Total de Ptos (3/4) =	12051
Total de Ptos (4/4) =	2963
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1590.5
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1339.879
D(2/4) =	1440.882
D(3/4) =	1650.564
D(4/4) =	1930.674
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.693995
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	117%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	34%



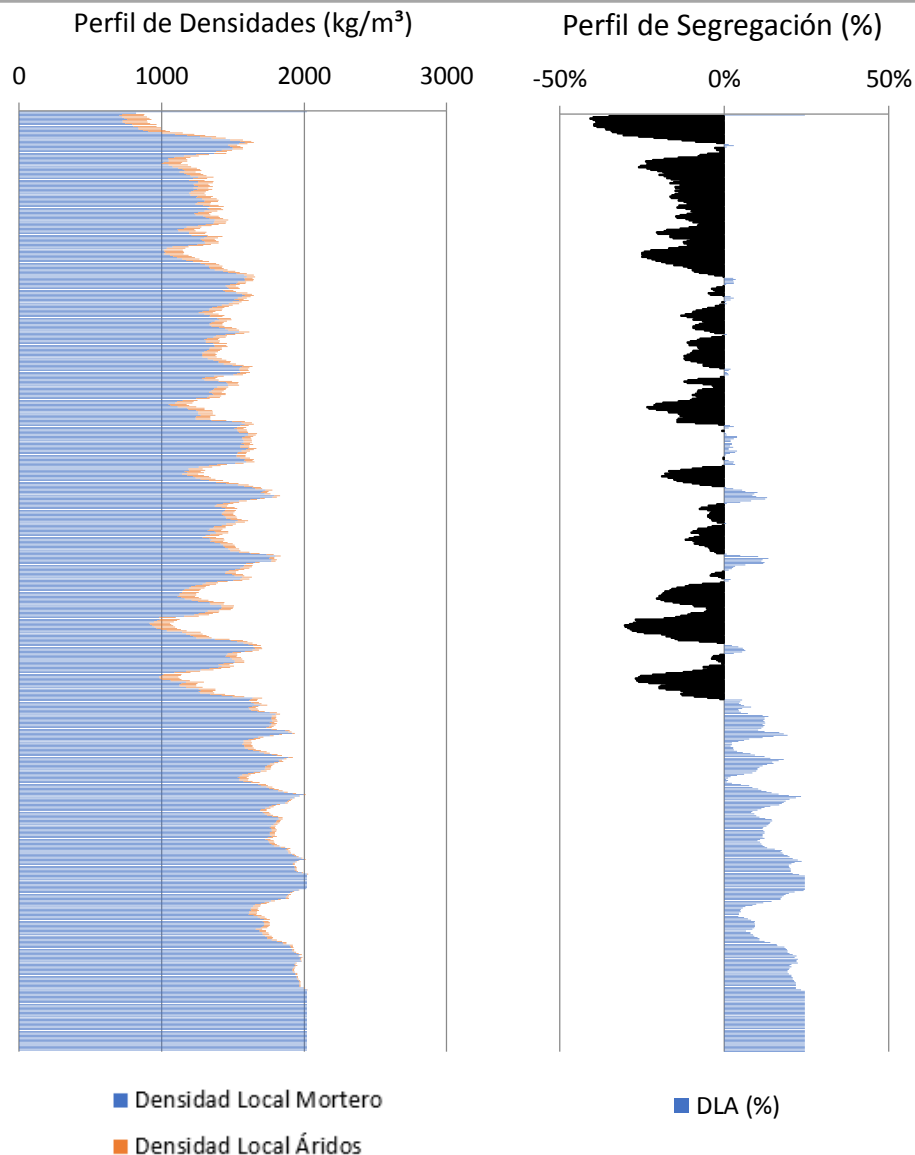
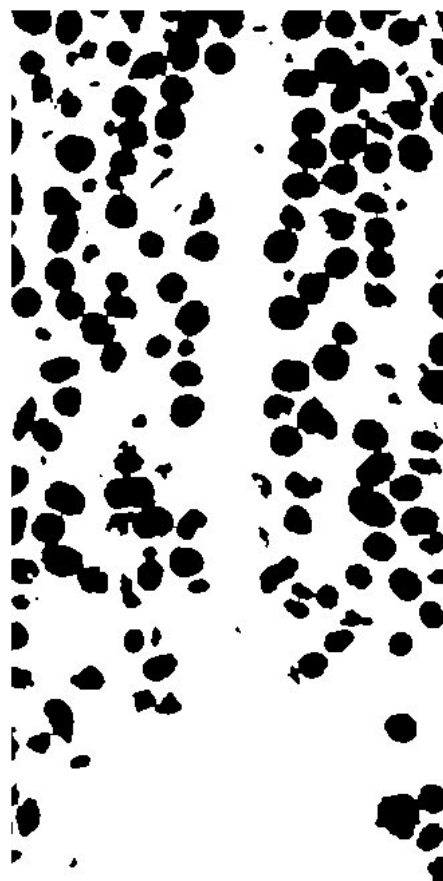
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V40C30A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	26%
CDL (%) =	14%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	31250
Total de Ptos (2/3) =	21548
Total de Ptos (3/3) =	6188
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	24879
Total de Ptos (2/4) =	16554
Total de Ptos (3/4) =	13996
Total de Ptos (4/4) =	3448
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1568.324
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1255.18
D(2/4) =	1511.773
D(3/4) =	1590.616
D(4/4) =	1915.726
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.655198
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	134%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	36%



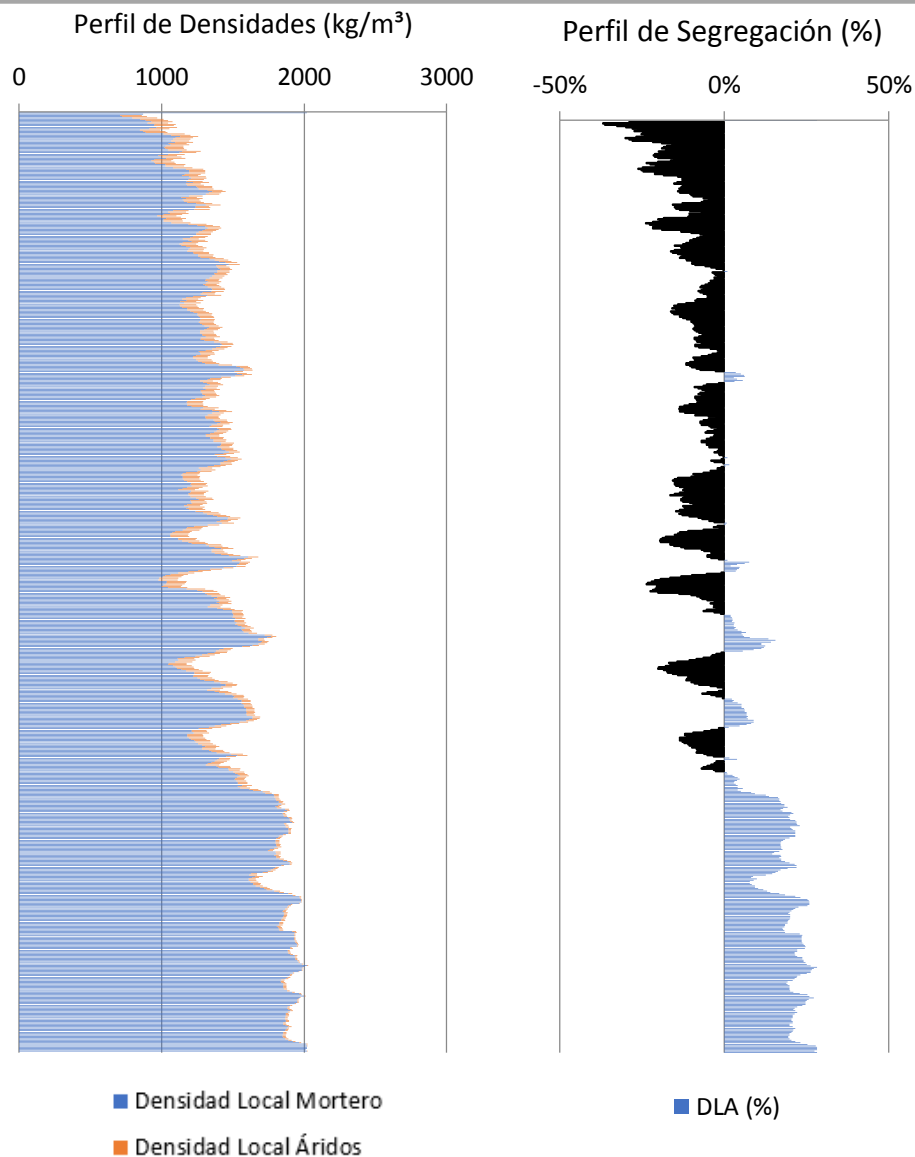
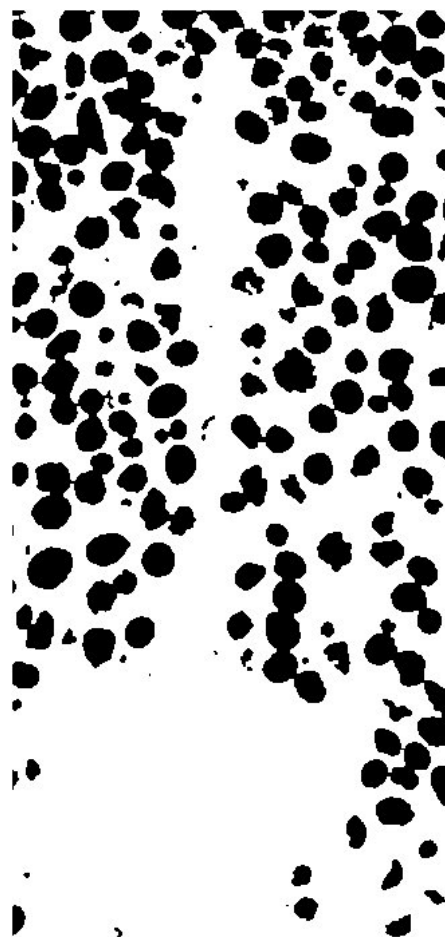
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V40C30B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	25%
CDL (%) =	13%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	27703
Total de Ptos (2/3) =	21947
Total de Ptos (3/3) =	6261
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	21257
Total de Ptos (2/4) =	16284
Total de Ptos (3/4) =	14806
Total de Ptos (4/4) =	3494
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1591.717
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1366.817
D(2/4) =	1520.095
D(3/4) =	1565.65
D(4/4) =	1914.308
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.714001
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	126%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	34%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

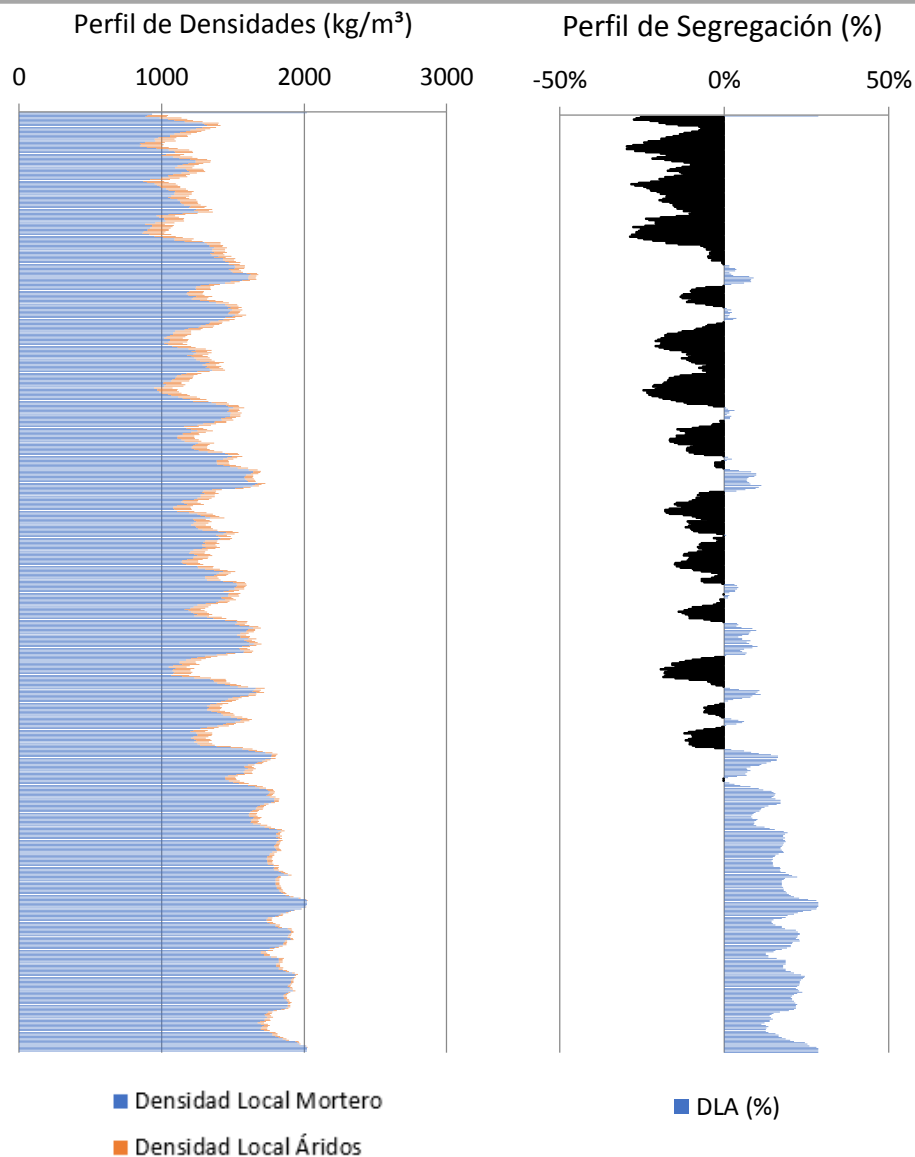
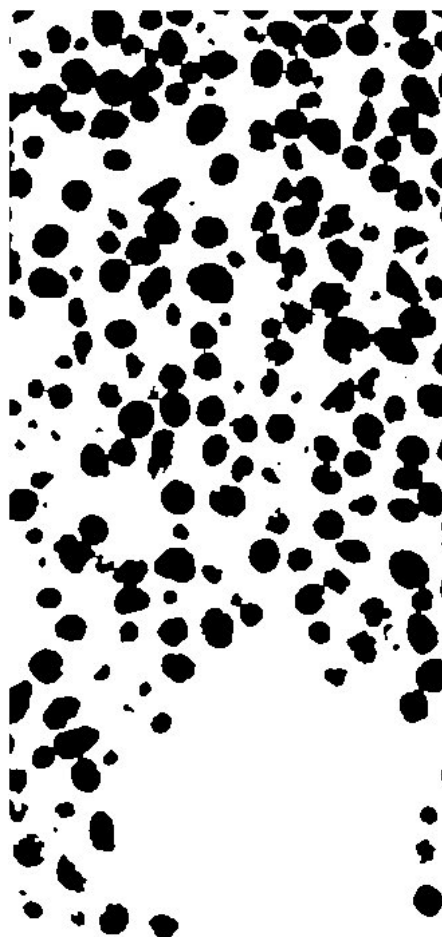
MUESTRA	
HLM1700V40C60A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	28%
CDL (%) =	13%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	30052
Total de Ptos (2/3) =	25467
Total de Ptos (3/3) =	8633
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	23501
Total de Ptos (2/4) =	20215
Total de Ptos (3/4) =	16046
Total de Ptos (4/4) =	4282
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1528.509
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1297.653
D(2/4) =	1398.934
D(3/4) =	1527.431
D(4/4) =	1890.02
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.686581
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	111%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	31%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

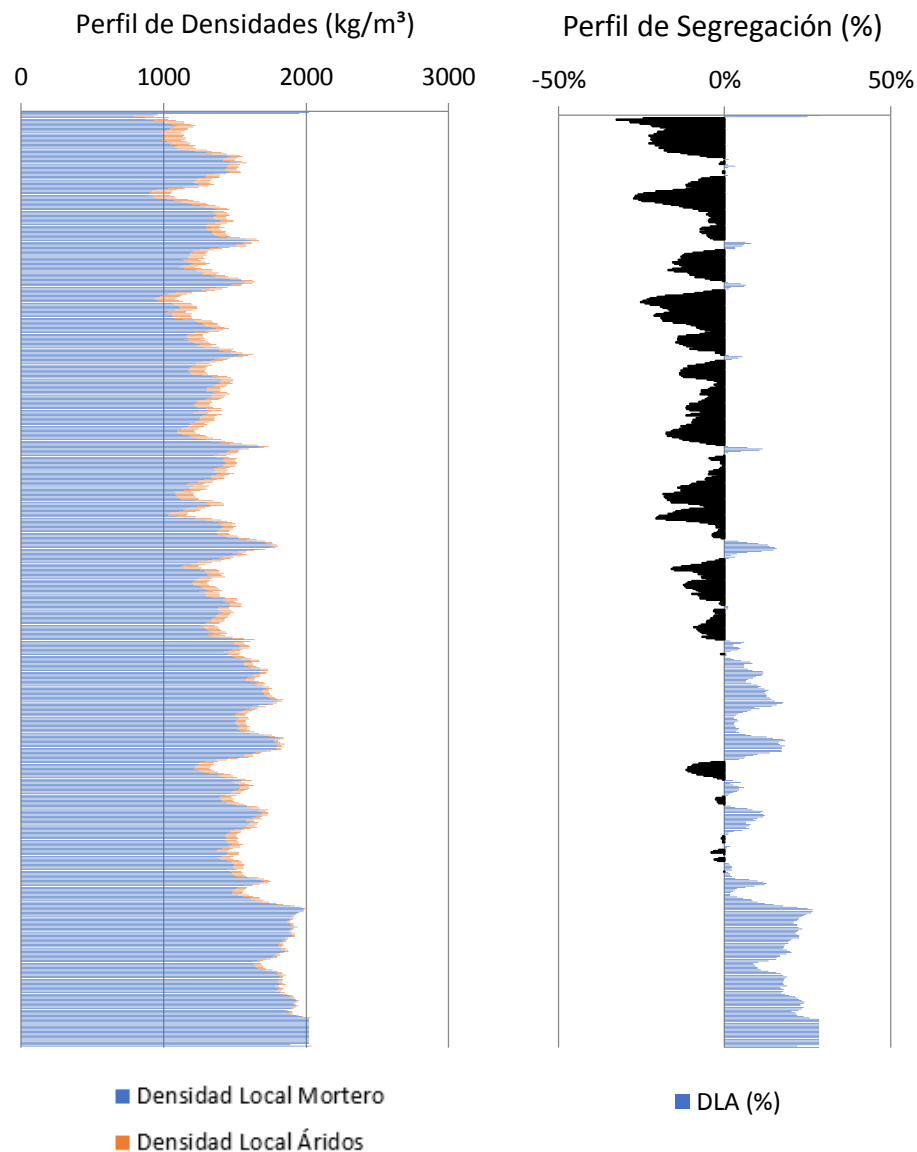
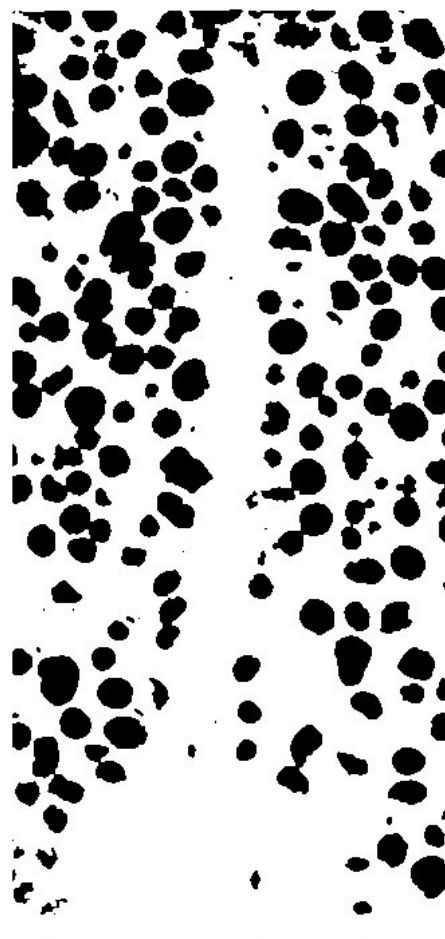


MUESTRA	
HLM1700V40C60B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	29%
CDL (%) =	13%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	30907
Total de Ptos (2/3) =	24976
Total de Ptos (3/3) =	9328
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	23465
Total de Ptos (2/4) =	20604
Total de Ptos (3/4) =	15538
Total de Ptos (4/4) =	5480
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1520.472
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1298.762
D(2/4) =	1386.944
D(3/4) =	1543.088
D(4/4) =	1853.096
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.700861
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	107%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	31%



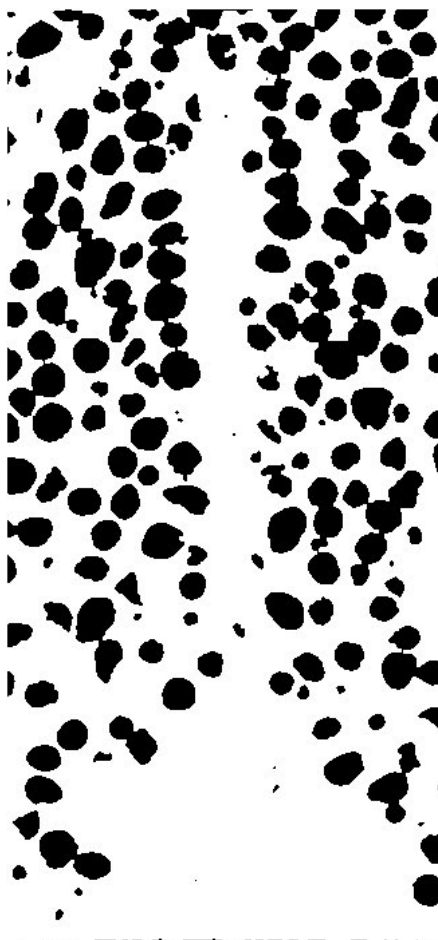
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V40C90A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	28%
CDL (%) =	11%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	29159
Total de Ptos (2/3) =	22920
Total de Ptos (3/3) =	12568
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	22345
Total de Ptos (2/4) =	19722
Total de Ptos (3/4) =	14537
Total de Ptos (4/4) =	7908
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1524.903
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1333.283
D(2/4) =	1414.129
D(3/4) =	1573.941
D(4/4) =	1778.26
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.749768
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	80%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	26%



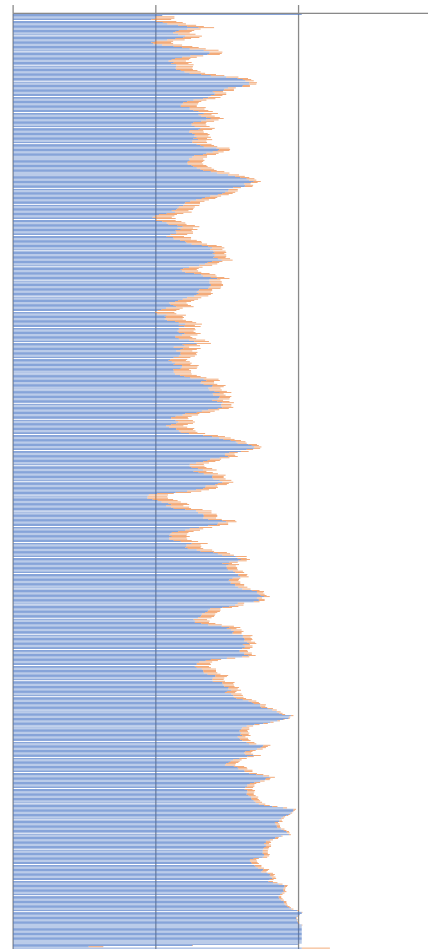
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V40C90B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	29%
CDL (%) =	11%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	28274
Total de Ptos (2/3) =	25672
Total de Ptos (3/3) =	11160
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	20988
Total de Ptos (2/4) =	20802
Total de Ptos (3/4) =	16511
Total de Ptos (4/4) =	6667
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1521.389
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1375.108
D(2/4) =	1380.841
D(3/4) =	1513.098
D(4/4) =	1816.51
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.757006
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	87%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	28%



Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)

0 1000 2000 3000

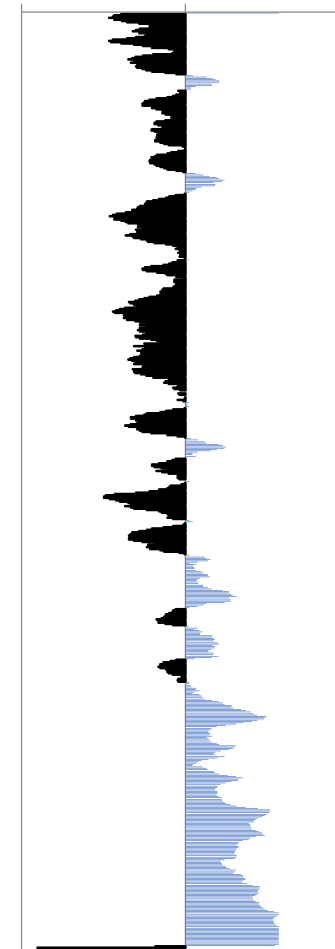


■ Densidad Local Mortero

■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)

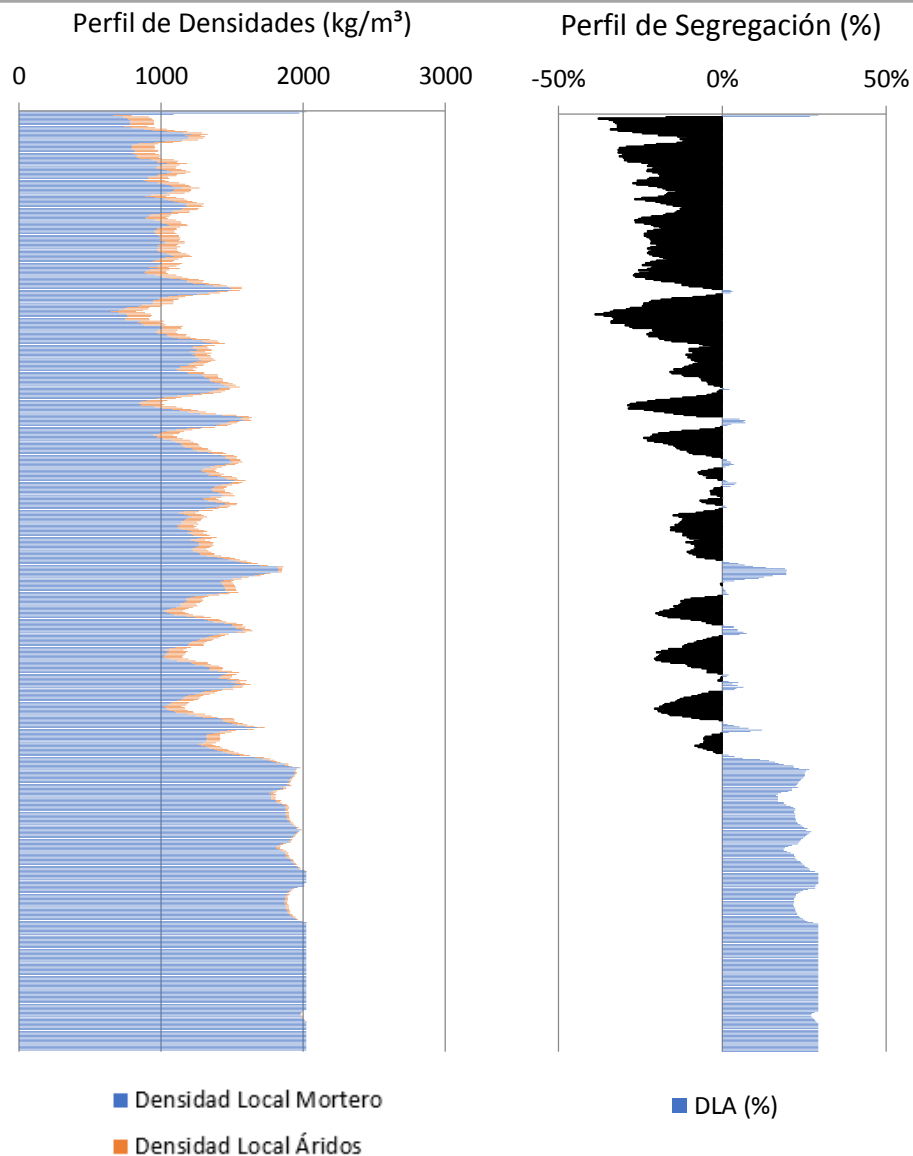
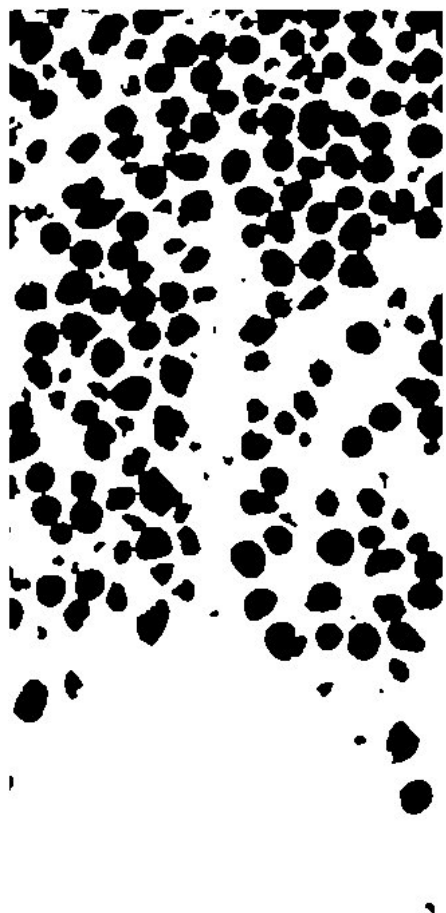
-50% 0% 50%



■ DLA (%)

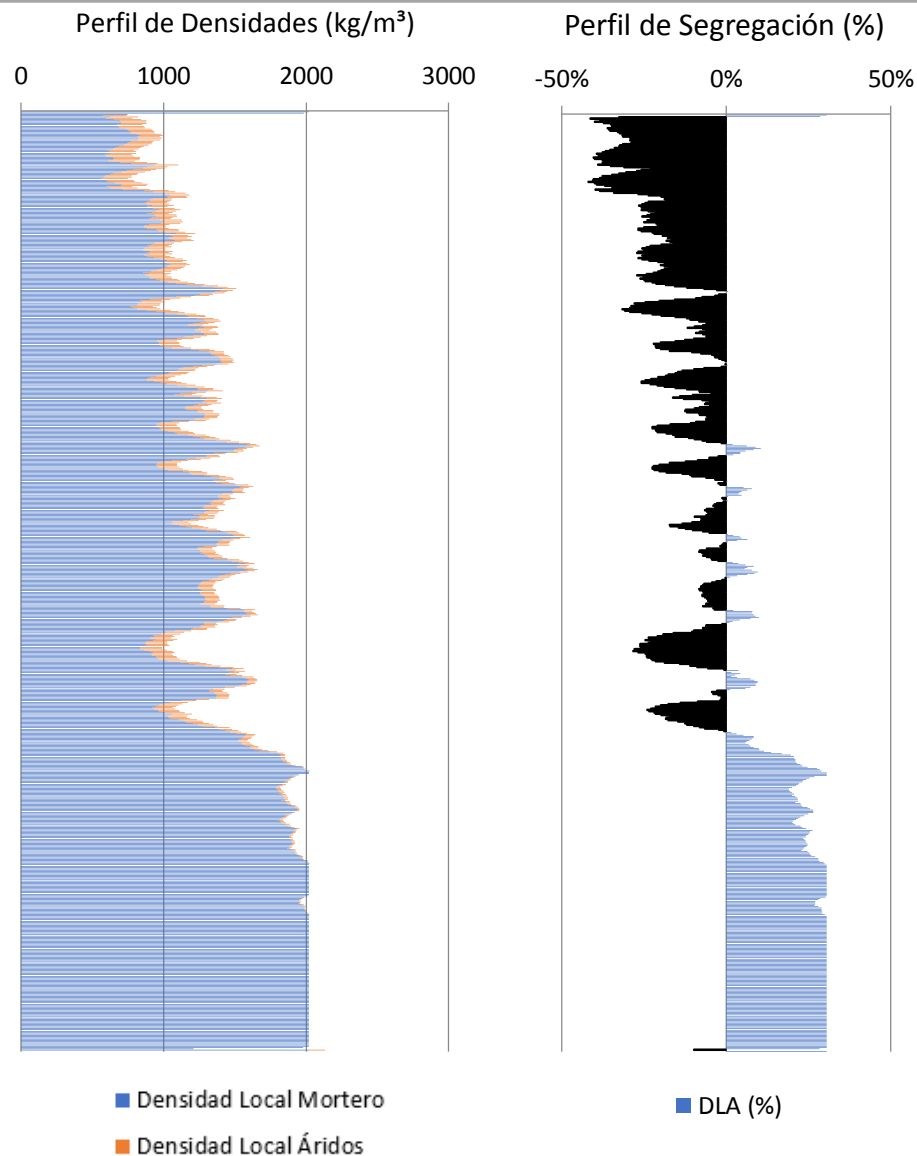
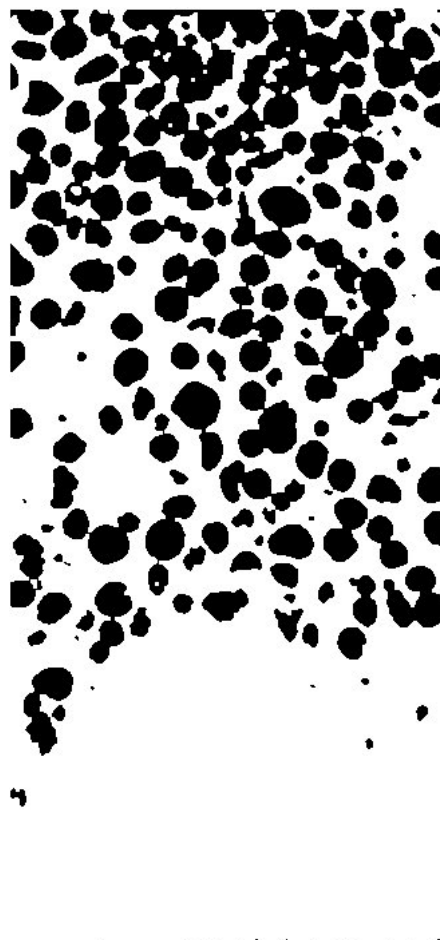
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V80C15A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<b>1.1 Distribución Global</b>	
IAG (%) =	29%
CDL (%) =	17%
<b>1.2 Distribución em 3 Zonas</b>	
Total de Ptos (1/3) =	36085
Total de Ptos (2/3) =	26749
Total de Ptos (3/3) =	3979
<b>1.3 Distribución em 4 Zonas</b>	
Total de Ptos (1/4) =	28664
Total de Ptos (2/4) =	20347
Total de Ptos (3/4) =	16386
Total de Ptos (4/4) =	1319
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<b>2.1 Mitades de Probeta</b>	
Dmp =	1507.92
<b>2.2 Cuartos de Probeta</b>	
D(1/4) =	1138.519
D(2/4) =	1394.865
D(3/4) =	1516.951
D(4/4) =	1981.346
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<b>3.1 Según Ke et al</b>	
IS (Ke) =	0.574619
<b>3.2 Según Navarrete et al</b>	
IS (Navarrete) =	160%
Concepto:	
<b>3.3 Según Solak</b>	
IS vertical (Solak) =	42%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

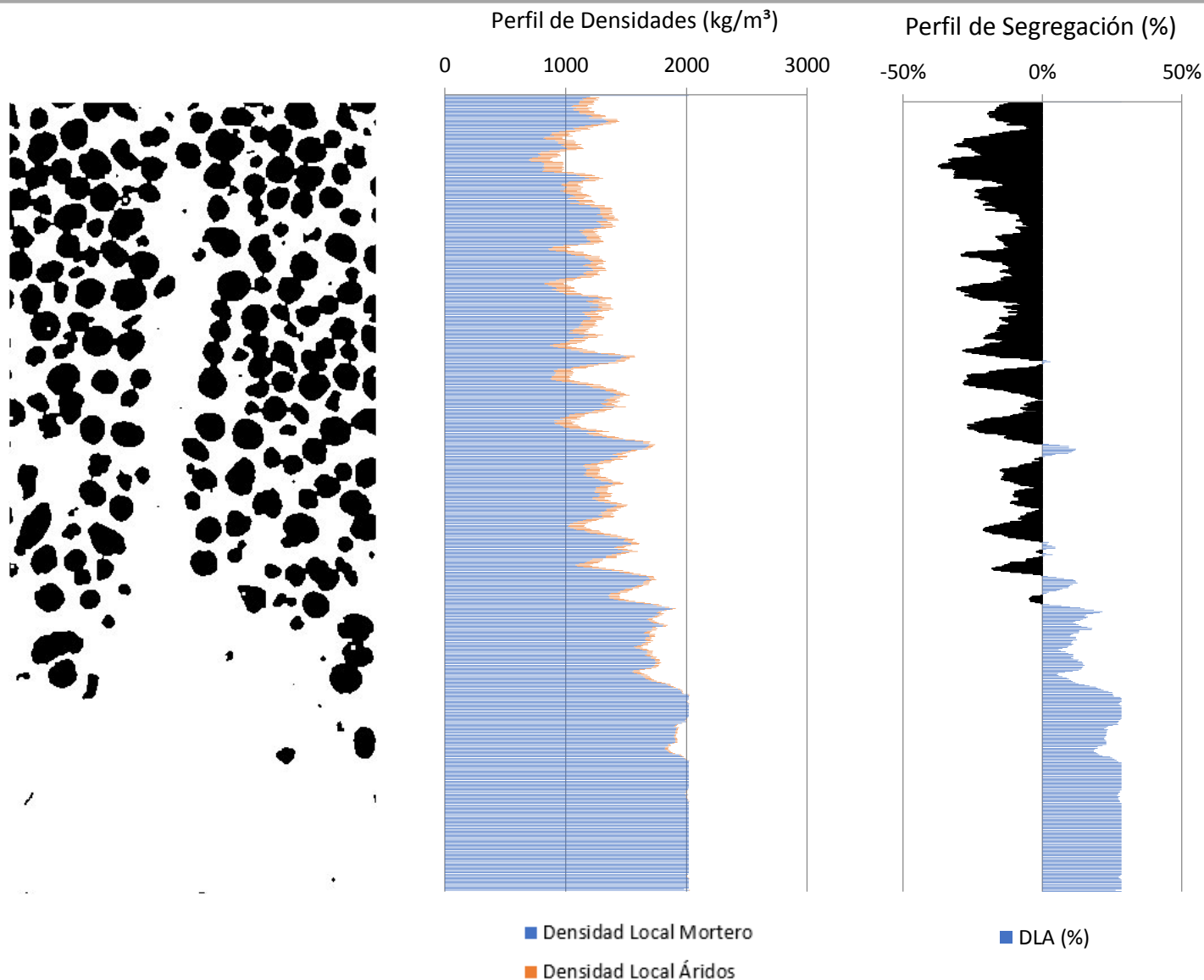
MUESTRA	
HLM1700V80C15B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	31%
CDL (%) =	19%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	38854
Total de Ptos (2/3) =	27984
Total de Ptos (3/3) =	2766
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	30878
Total de Ptos (2/4) =	21098
Total de Ptos (3/4) =	16540
Total de Ptos (4/4) =	916
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1486.992
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1070.279
D(2/4) =	1371.718
D(3/4) =	1512.204
D(4/4) =	1993.767
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.536812
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	173%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	45%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

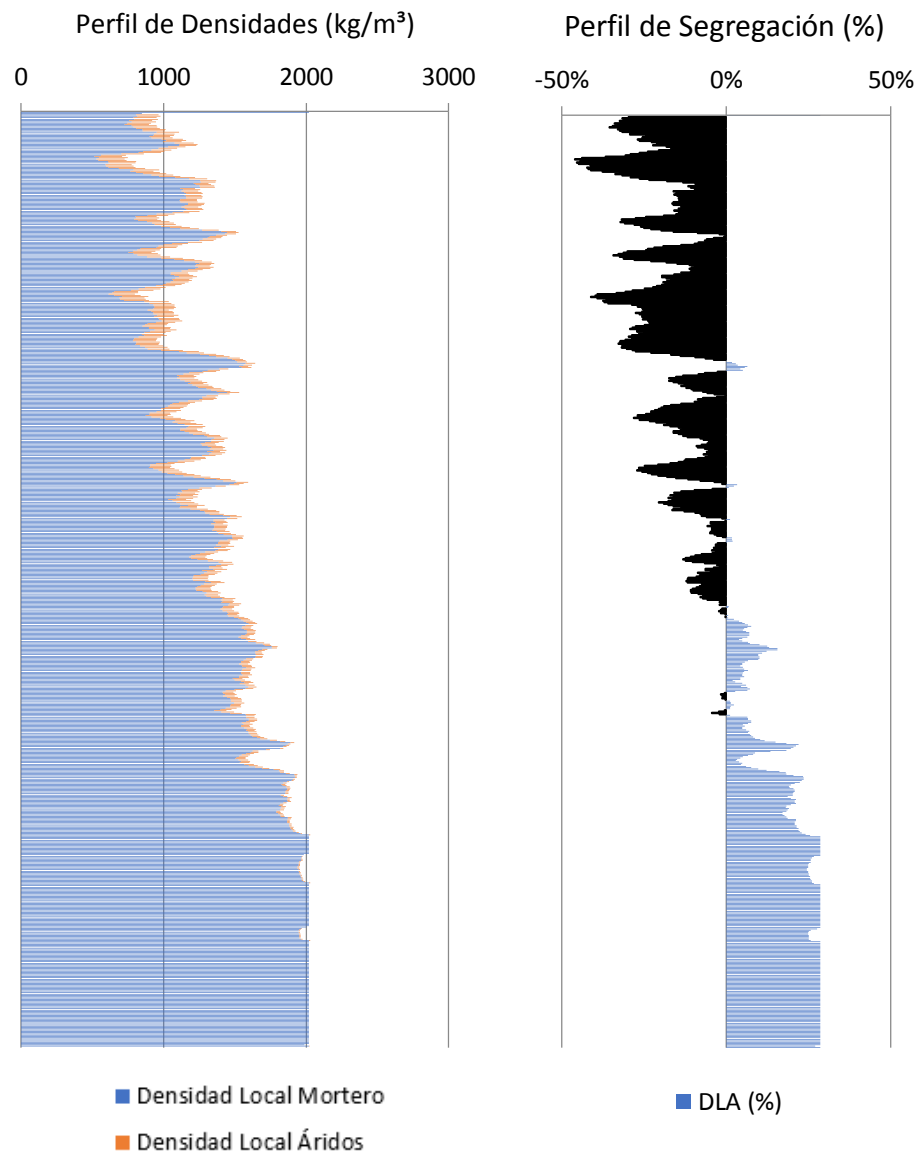


MUESTRA	
HLM1700V80C30A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	28%
CDL (%) =	17%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	35024
Total de Ptos (2/3) =	26042
Total de Ptos (3/3) =	3730
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	26856
Total de Ptos (2/4) =	22905
Total de Ptos (3/4) =	14207
Total de Ptos (4/4) =	732
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1523.455
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1194.245
D(2/4) =	1316.023
D(3/4) =	1584.112
D(4/4) =	1999.438
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.59729
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	162%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	43%



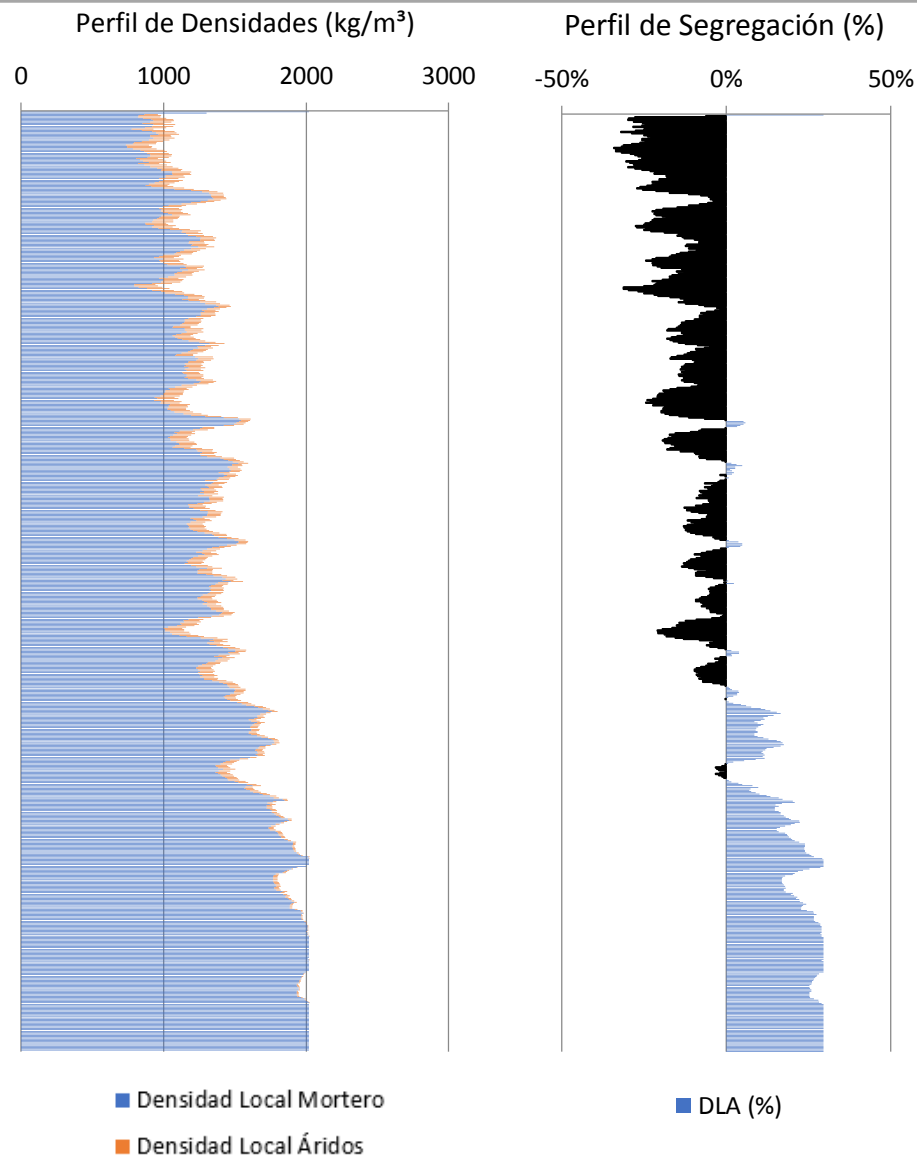
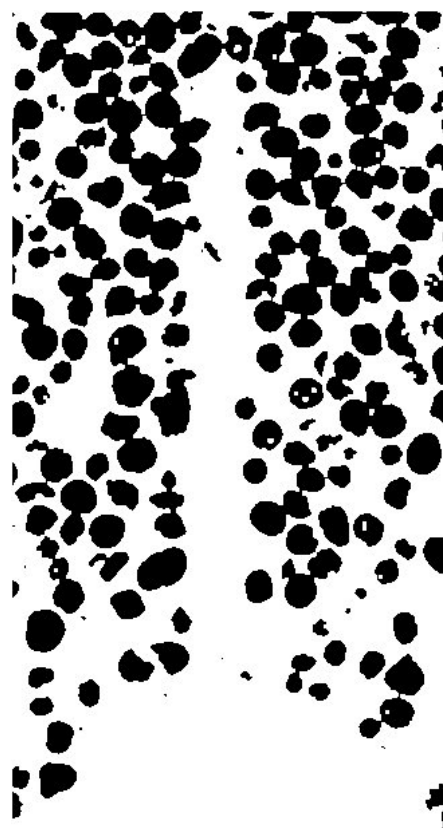
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V80C30B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	29%
CDL (%) =	18%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	37836
Total de Ptos (2/3) =	24209
Total de Ptos (3/3) =	3053
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	29909
Total de Ptos (2/4) =	22242
Total de Ptos (3/4) =	12110
Total de Ptos (4/4) =	689
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1521.528
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1100.145
D(2/4) =	1336.458
D(3/4) =	1648.746
D(4/4) =	2000.764
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.549863
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	170%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	44%



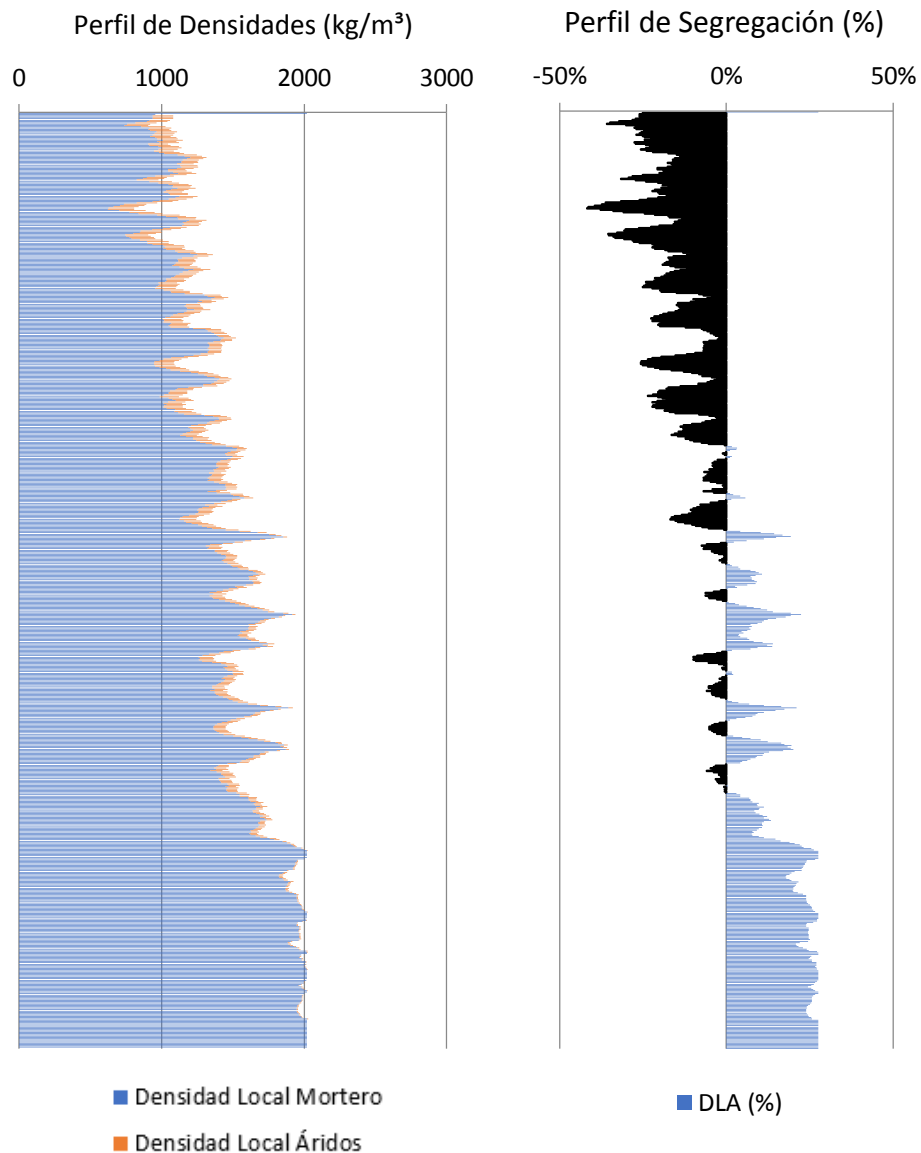
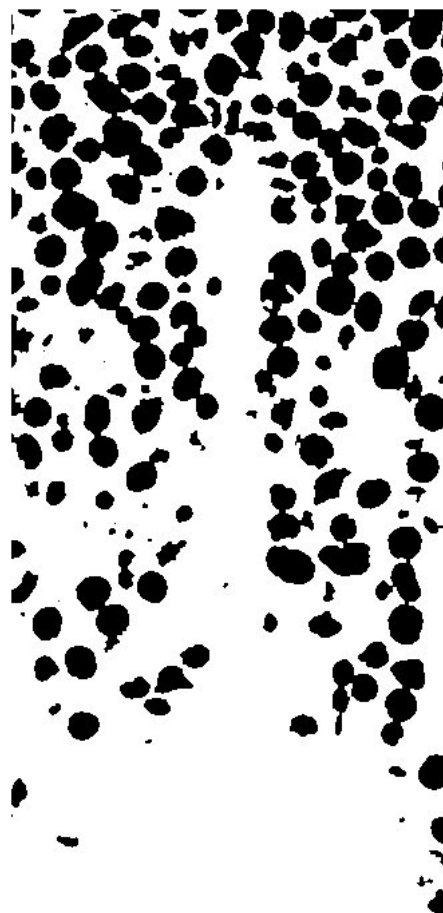
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V80C60A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	30%
CDL (%) =	16%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	35537
Total de Ptos (2/3) =	25797
Total de Ptos (3/3) =	5946
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	27333
Total de Ptos (2/4) =	21998
Total de Ptos (3/4) =	15743
Total de Ptos (4/4) =	2121
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1504.229
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1179.543
D(2/4) =	1343.978
D(3/4) =	1536.77
D(4/4) =	1956.627
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.602845
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	143%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	38%



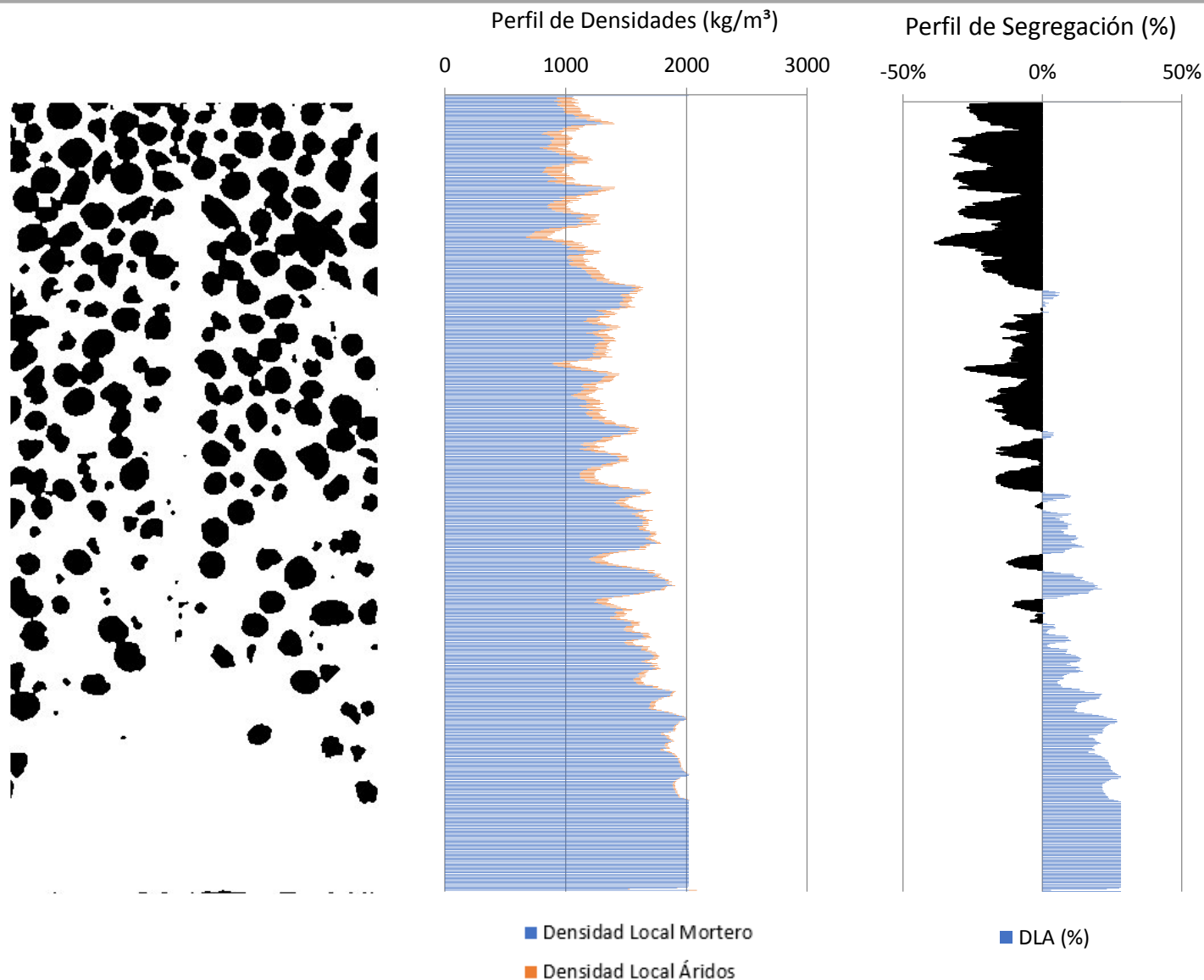
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700V80C60B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<b>1.1 Distribución Global</b>	
IAG (%) =	28%
CDL (%) =	15%
<b>1.2 Distribución em 3 Zonas</b>	
Total de Ptos (1/3) =	35205
Total de Ptos (2/3) =	21074
Total de Ptos (3/3) =	6527
<b>1.3 Distribución em 4 Zonas</b>	
Total de Ptos (1/4) =	27144
Total de Ptos (2/4) =	19607
Total de Ptos (3/4) =	13560
Total de Ptos (4/4) =	2372
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<b>2.1 Mitades de Probeta</b>	
Dmp =	1538.996
<b>2.2 Cuartos de Probeta</b>	
D(1/4) =	1185.368
D(2/4) =	1417.673
D(3/4) =	1604.054
D(4/4) =	1948.89
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<b>3.1 Según Ke et al</b>	
IS (Ke) =	0.608227
<b>3.2 Según Navarrete et al</b>	
IS (Navarrete) =	137%
Concepto:	
<b>3.3 Según Solak</b>	
IS vertical (Solak) =	37%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

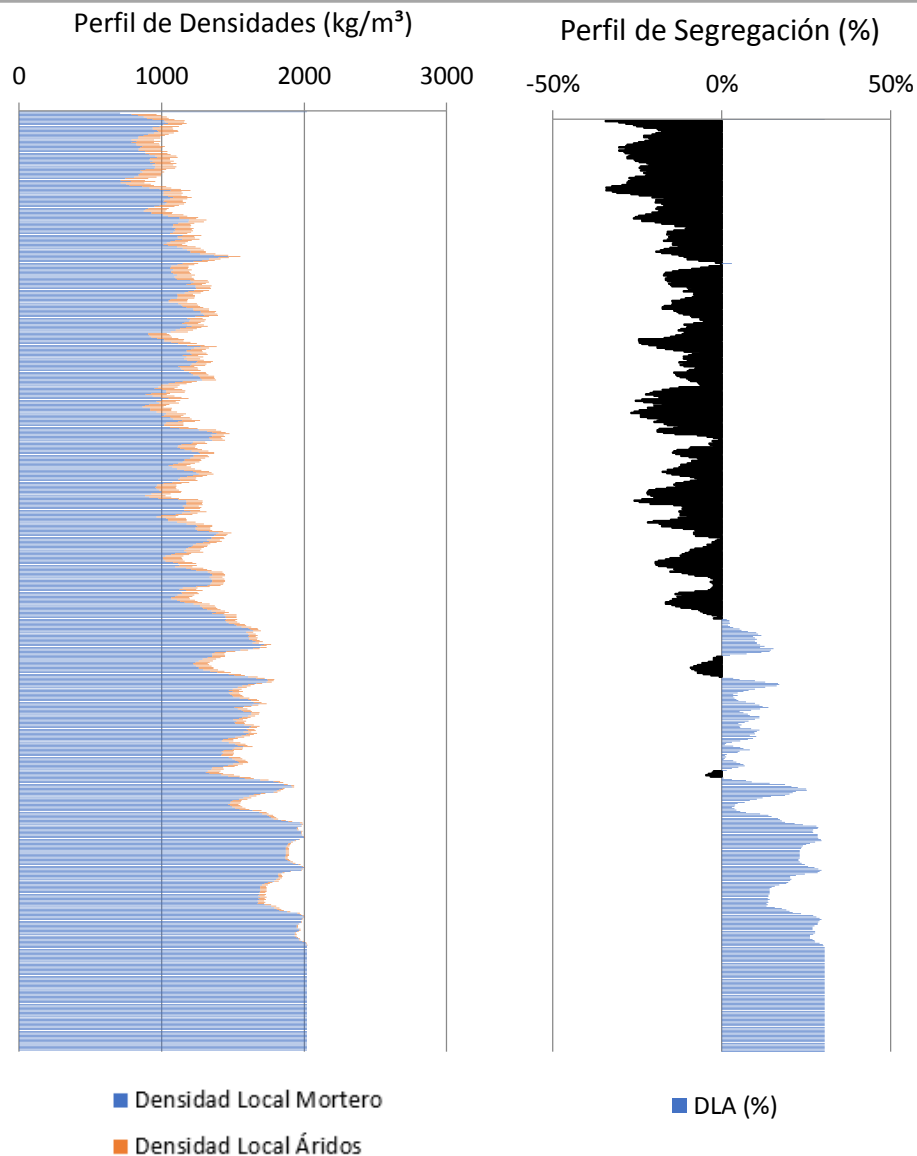
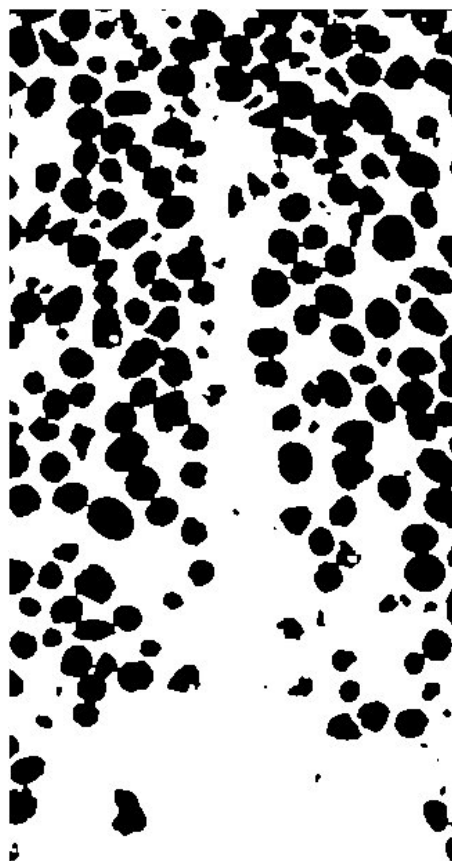
MUESTRA	
HLM1700V80C90A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	28%
CDL (%) =	16%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	34677
Total de Ptos (2/3) =	23696
Total de Ptos (3/3) =	5871
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	27844
Total de Ptos (2/4) =	21376
Total de Ptos (3/4) =	12620
Total de Ptos (4/4) =	2257
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1528.101
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1163.793
D(2/4) =	1363.149
D(3/4) =	1633.027
D(4/4) =	1952.435
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.596073
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	142%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	40%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

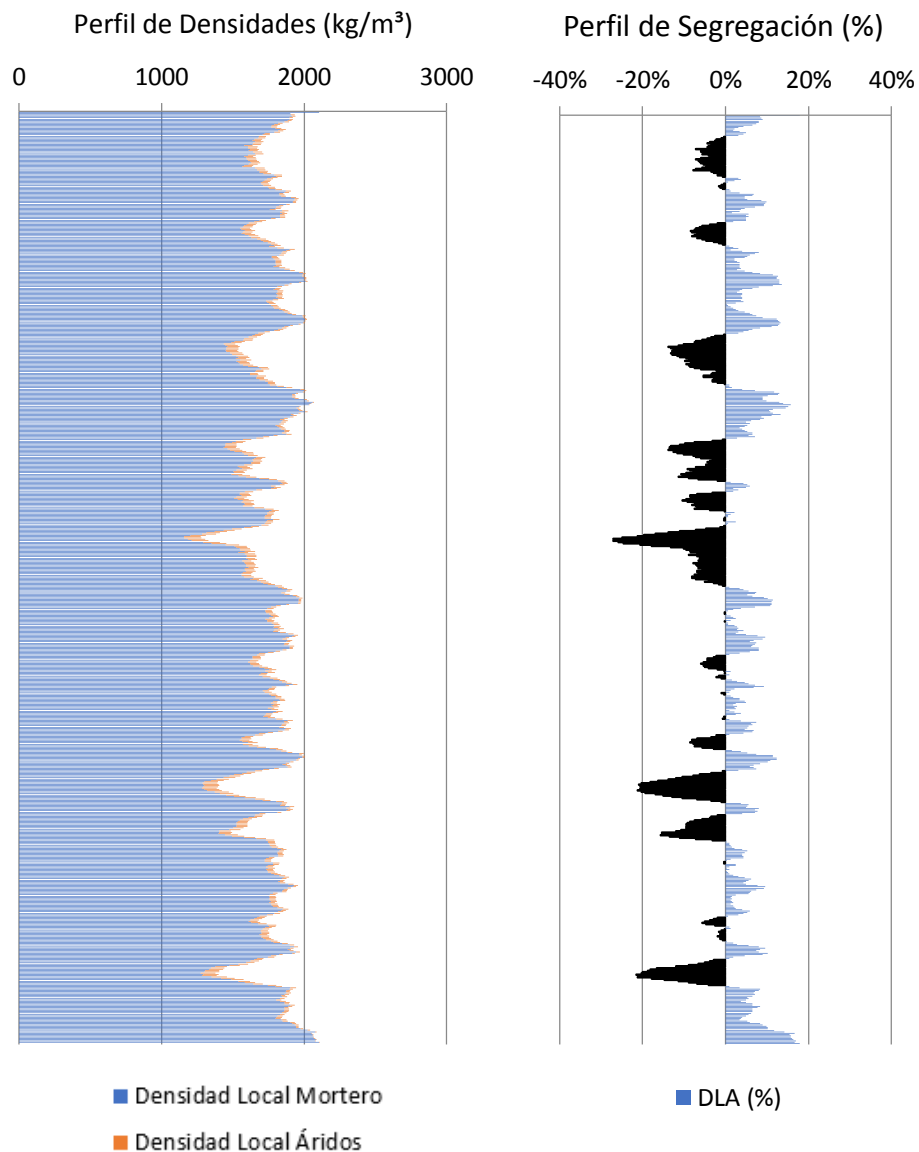


MUESTRA	
HLM1700V80C90B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2022
MUESTRA	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	31%
CDL (%) =	16%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	36378
Total de Ptos (2/3) =	26577
Total de Ptos (3/3) =	6599
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	27532
Total de Ptos (2/4) =	24740
Total de Ptos (3/4) =	14851
Total de Ptos (4/4) =	2270
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1487.293
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1173.409
D(2/4) =	1259.464
D(3/4) =	1564.263
D(4/4) =	1952.034
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.601121
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	139%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	39%



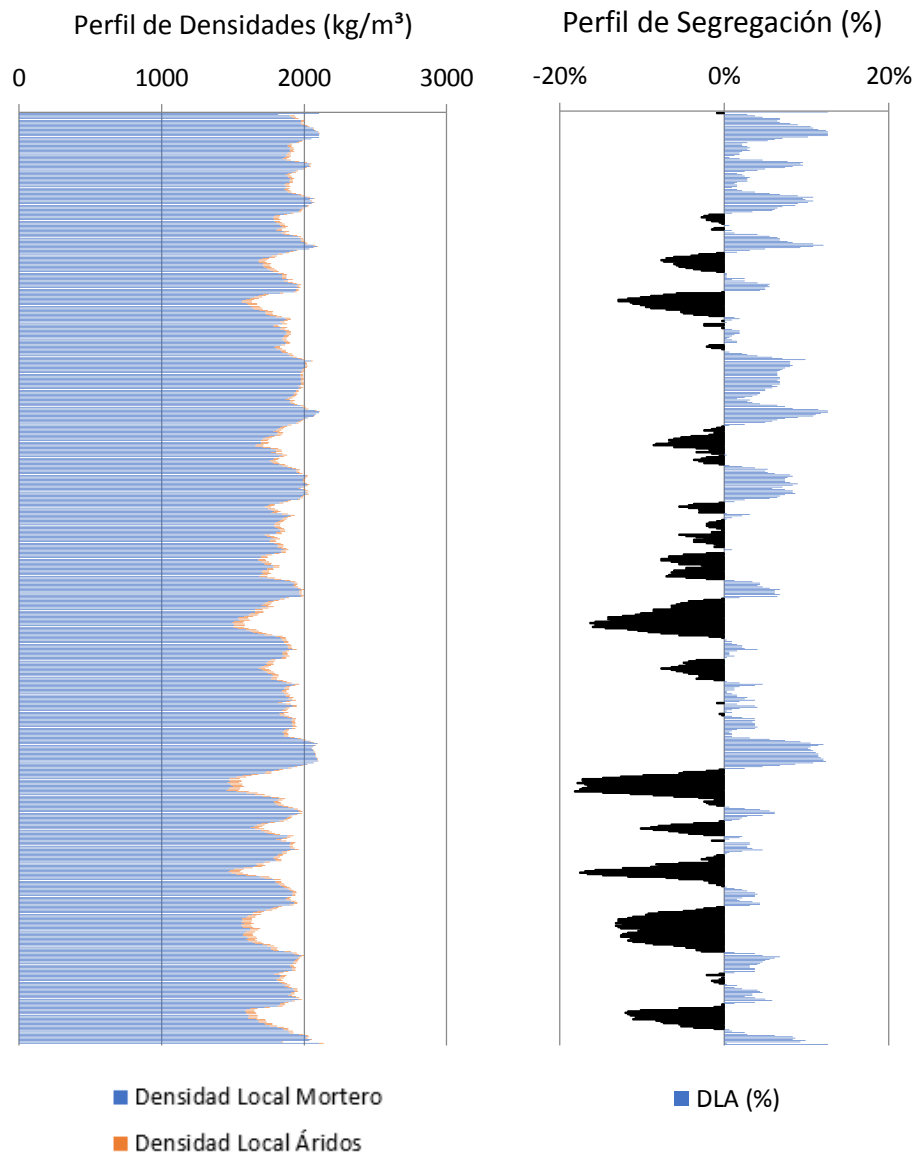
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C15V0A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	18%
CDL (%) =	6%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	12149
Total de Ptos (2/3) =	14817
Total de Ptos (3/3) =	13671
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	8982
Total de Ptos (2/4) =	12260
Total de Ptos (3/4) =	9757
Total de Ptos (4/4) =	9597
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1776.555
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1814.207
D(2/4) =	1708.447
D(3/4) =	1789.203
D(4/4) =	1794.365
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	1.011058
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	12%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	22%



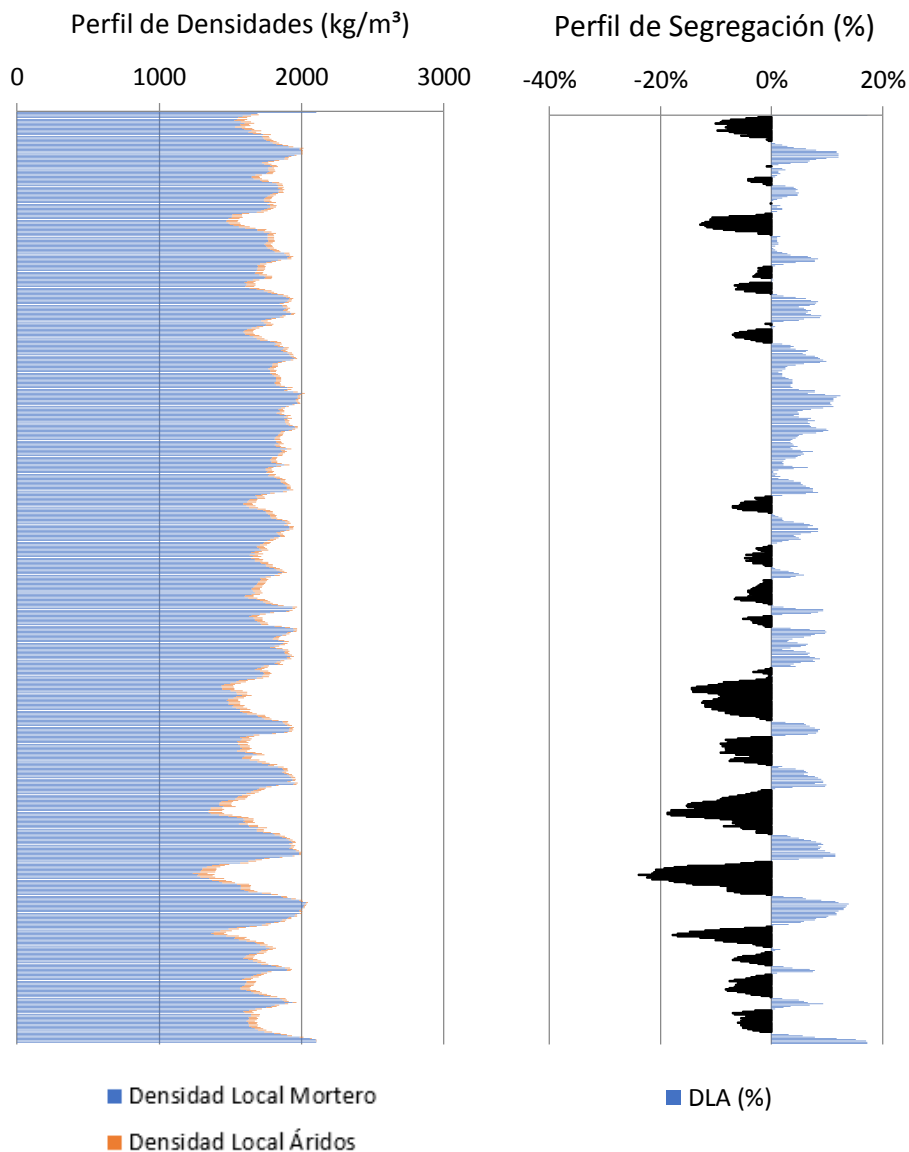
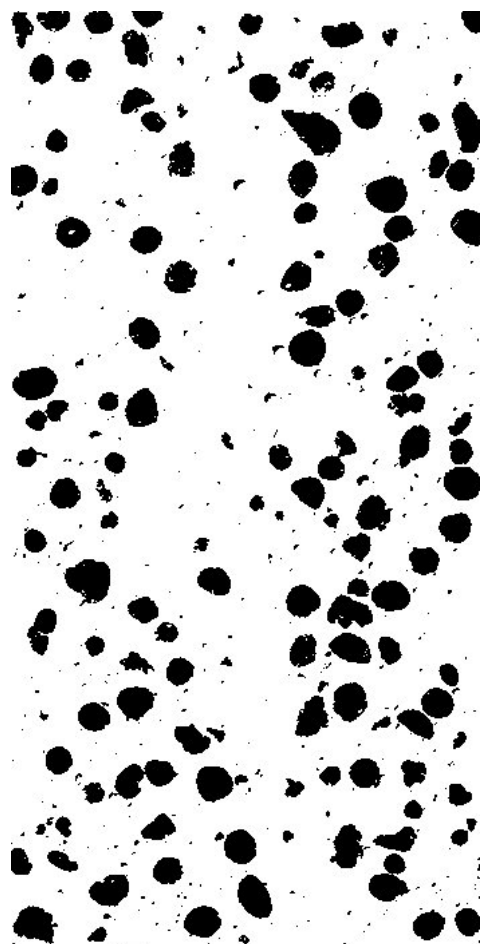
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C15V0B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	13%
CDL (%) =	5%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	7331
Total de Ptos (2/3) =	10457
Total de Ptos (3/3) =	11025
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	6022
Total de Ptos (2/4) =	6337
Total de Ptos (3/4) =	7890
Total de Ptos (4/4) =	8539
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1871.798
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1909.708
D(2/4) =	1899.545
D(3/4) =	1849.439
D(4/4) =	1828.5
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	1.044412
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	40%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	24%



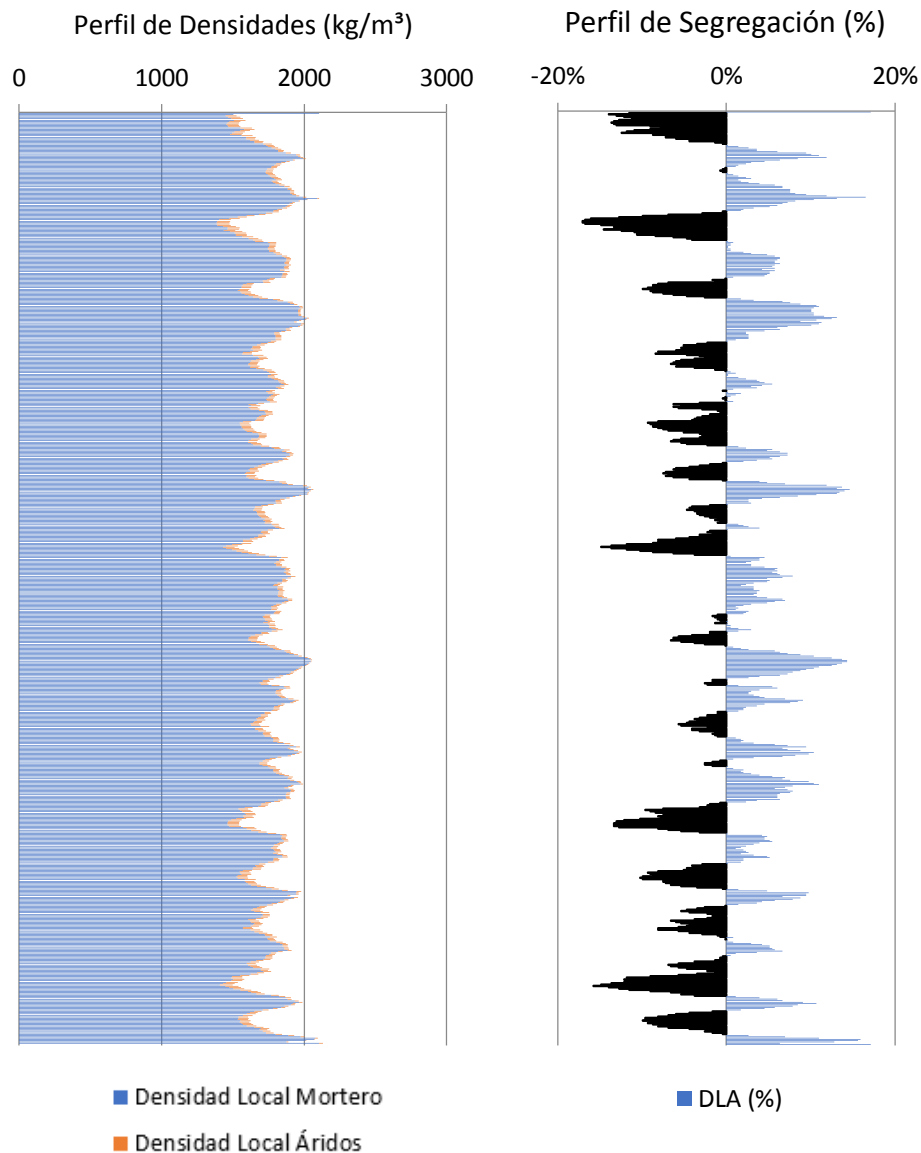
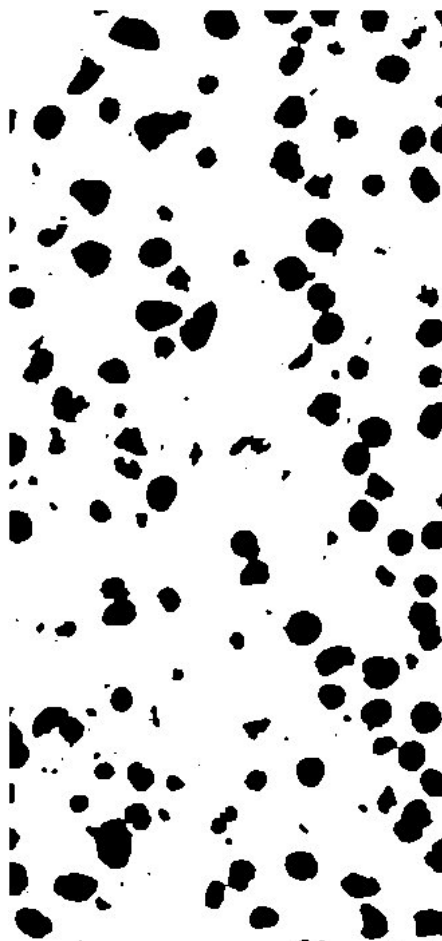
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C15V10A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	17%
CDL (%) =	6%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	11916
Total de Ptos (2/3) =	12543
Total de Ptos (3/3) =	14872
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	9796
Total de Ptos (2/4) =	7725
Total de Ptos (3/4) =	10827
Total de Ptos (4/4) =	10949
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1787.033
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1787.944
D(2/4) =	1854.763
D(3/4) =	1754.681
D(4/4) =	1750.744
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	1.021248
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	22%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	21%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

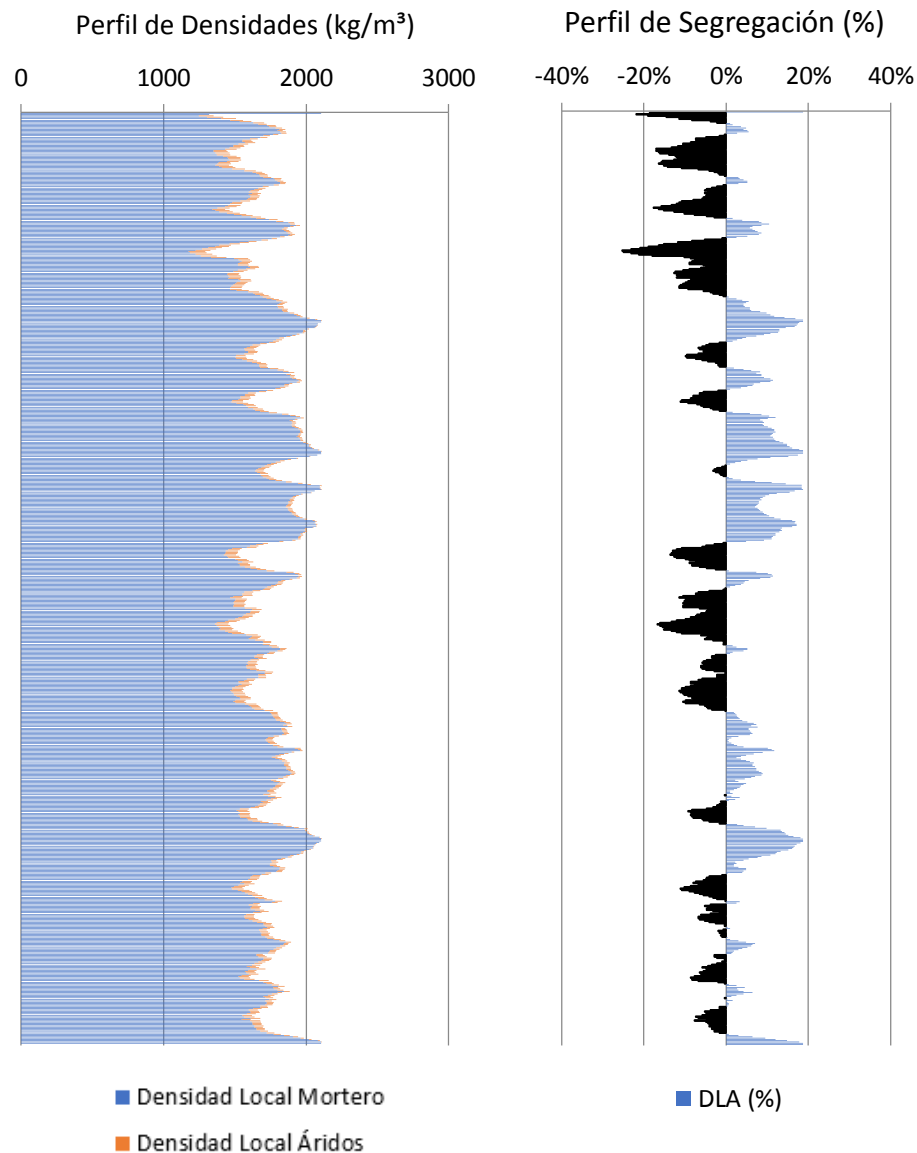
MUESTRA	
HL1900C15V10B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	17%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	13276
Total de Ptos (2/3) =	12309
Total de Ptos (3/3) =	13475
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	9586
Total de Ptos (2/4) =	10309
Total de Ptos (3/4) =	8182
Total de Ptos (4/4) =	10897
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1789.638
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1794.72
D(2/4) =	1771.393
D(3/4) =	1840.018
D(4/4) =	1752.422
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.024137
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	1%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	19%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

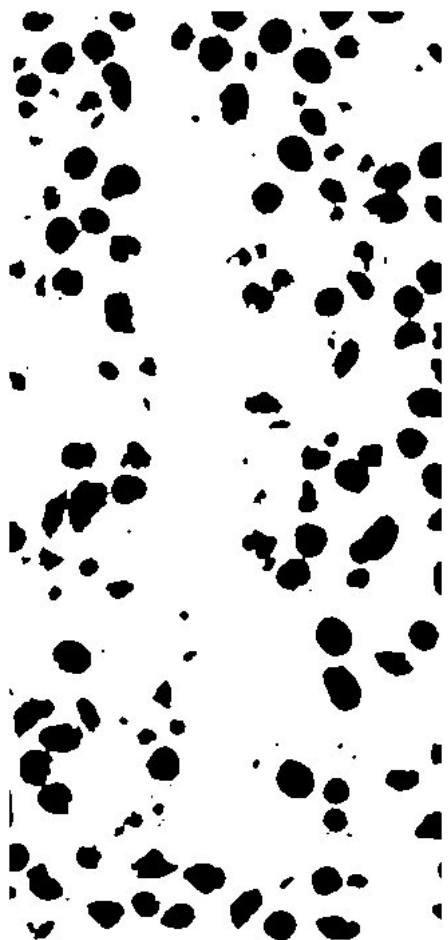


MUESTRA	
HL1900C15V20A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	19%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	16302
Total de Ptos (2/3) =	13310
Total de Ptos (3/3) =	13093
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	12686
Total de Ptos (2/4) =	8162
Total de Ptos (3/4) =	11636
Total de Ptos (4/4) =	10190
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1759.794
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1694.702
D(2/4) =	1840.663
D(3/4) =	1728.579
D(4/4) =	1775.233
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.954637
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	22%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	24%

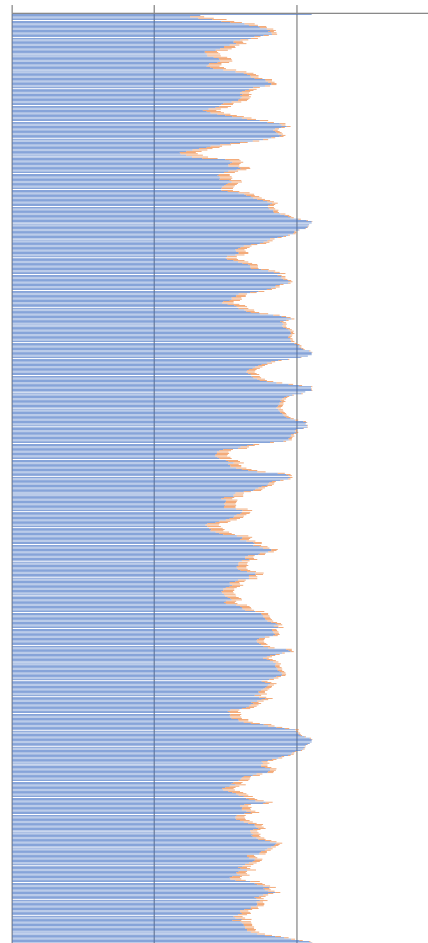


‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C15V20B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	18%
CDL (%) =	7%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	16069
Total de Ptos (2/3) =	11055
Total de Ptos (3/3) =	13109
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	12251
Total de Ptos (2/4) =	8518
Total de Ptos (3/4) =	9110
Total de Ptos (4/4) =	10329
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1779.685
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1708.737
D(2/4) =	1829.177
D(3/4) =	1810.077
D(4/4) =	1770.748
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.96498
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	20%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	24%


Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)

0 1000 2000 3000

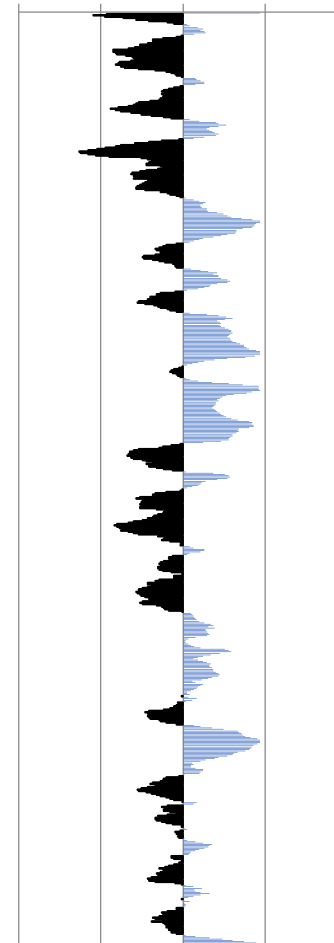


■ Densidad Local Mortero

■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)

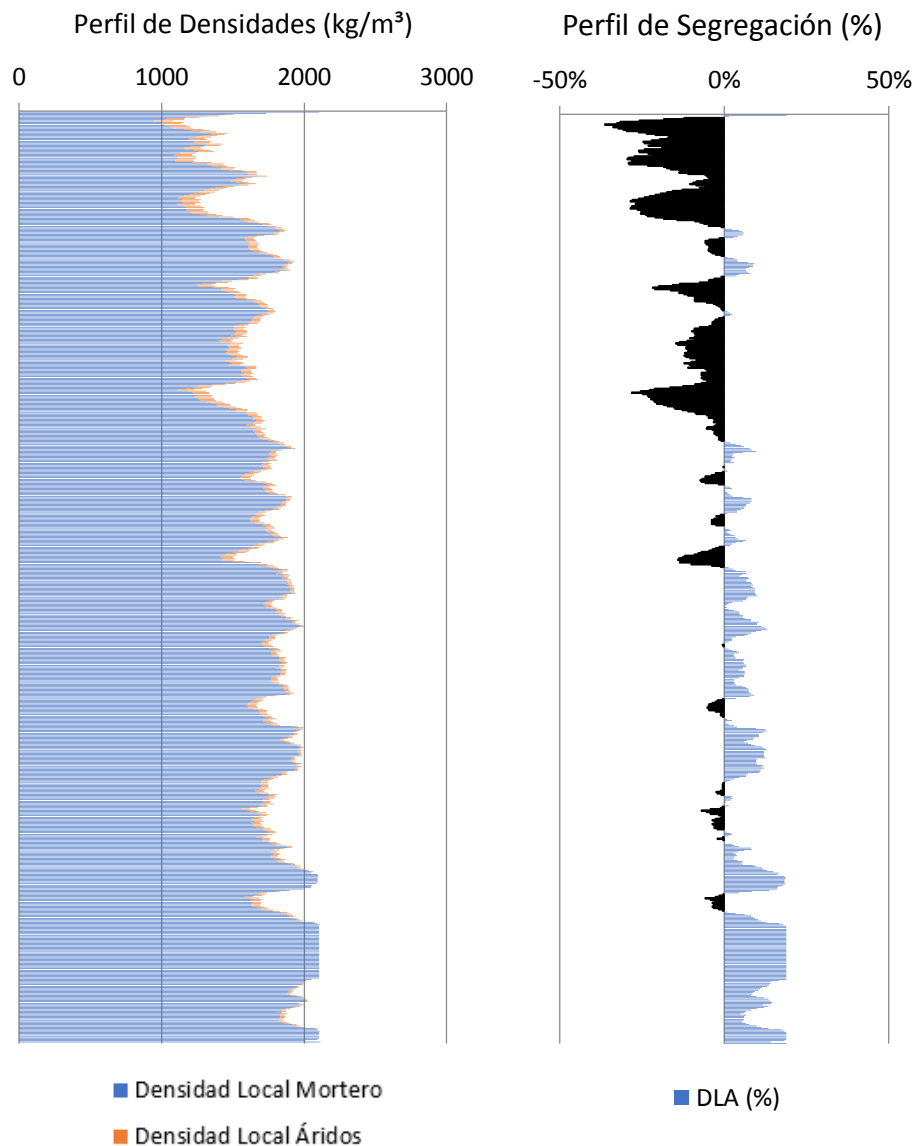
-40% -20% 0% 20% 40%



■ DLA (%)

‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C15V40A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	19%
CDL (%) =	9%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	23122
Total de Ptos (2/3) =	12568
Total de Ptos (3/3) =	7465
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	17240
Total de Ptos (2/4) =	12977
Total de Ptos (3/4) =	7914
Total de Ptos (4/4) =	4955
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1756.471
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1547.773
D(2/4) =	1685.313
D(3/4) =	1848.665
D(4/4) =	1944.133
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.796125
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	102%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	30%

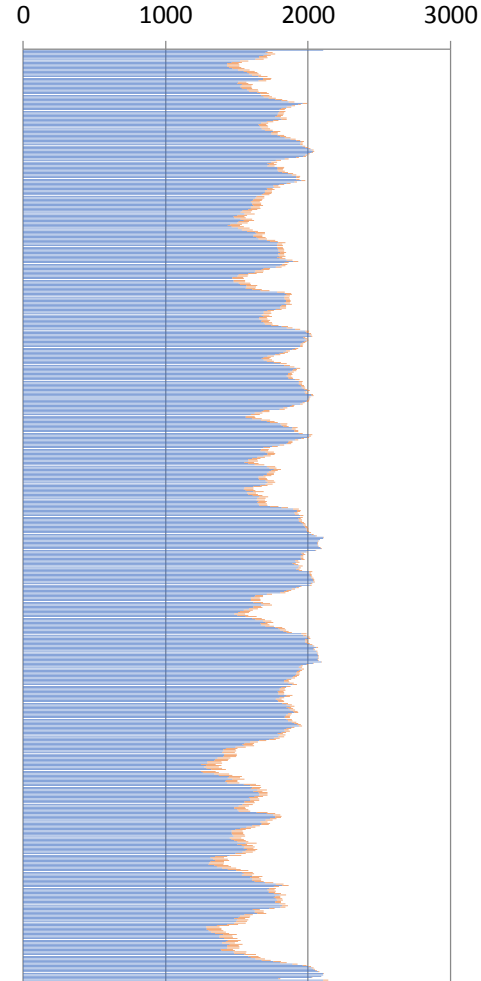


‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C15V40B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	18%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	13541
Total de Ptos (2/3) =	9419
Total de Ptos (3/3) =	17322
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	10724
Total de Ptos (2/4) =	8559
Total de Ptos (3/4) =	6192
Total de Ptos (4/4) =	14743
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1779.604
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1758.004
D(2/4) =	1827.855
D(3/4) =	1904.223
D(4/4) =	1628.336
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.079632
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	25%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	27%

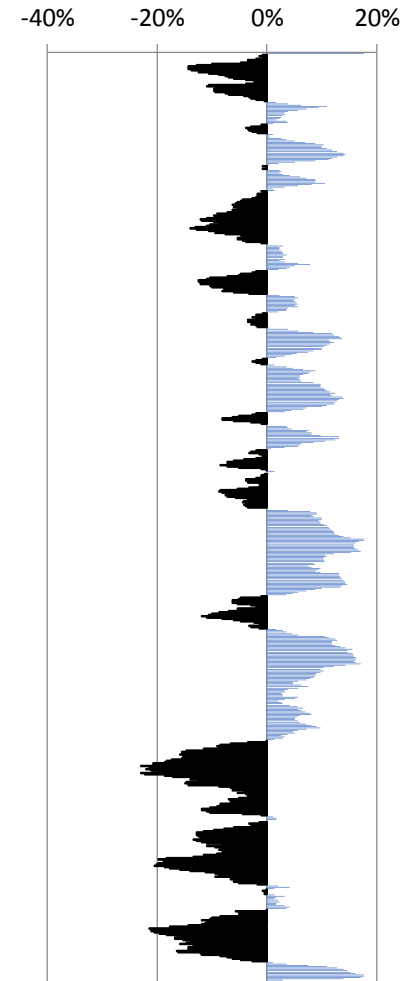


Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)



■ Densidad Local Mortero  
■ Densidad Local Áridos

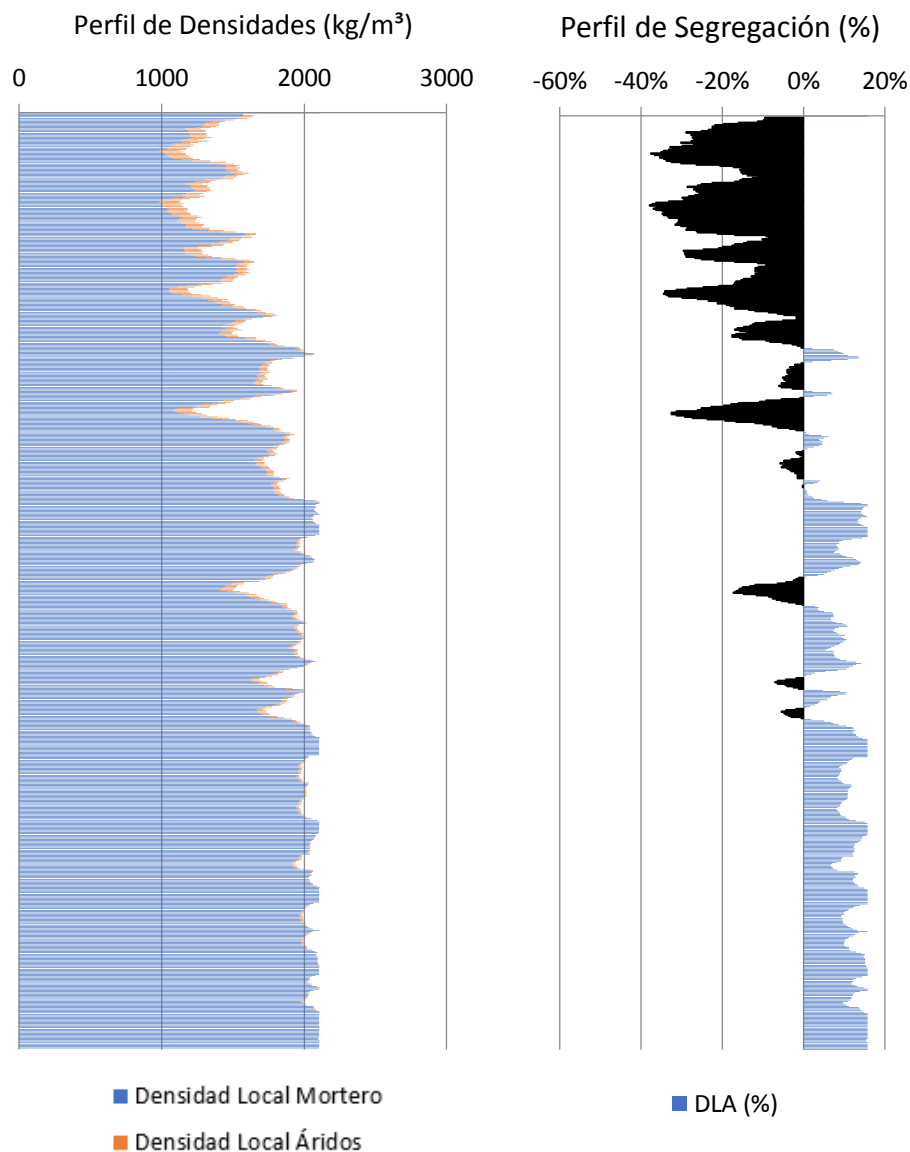
Perfil de Segregación (%)



■ DLA (%)

‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

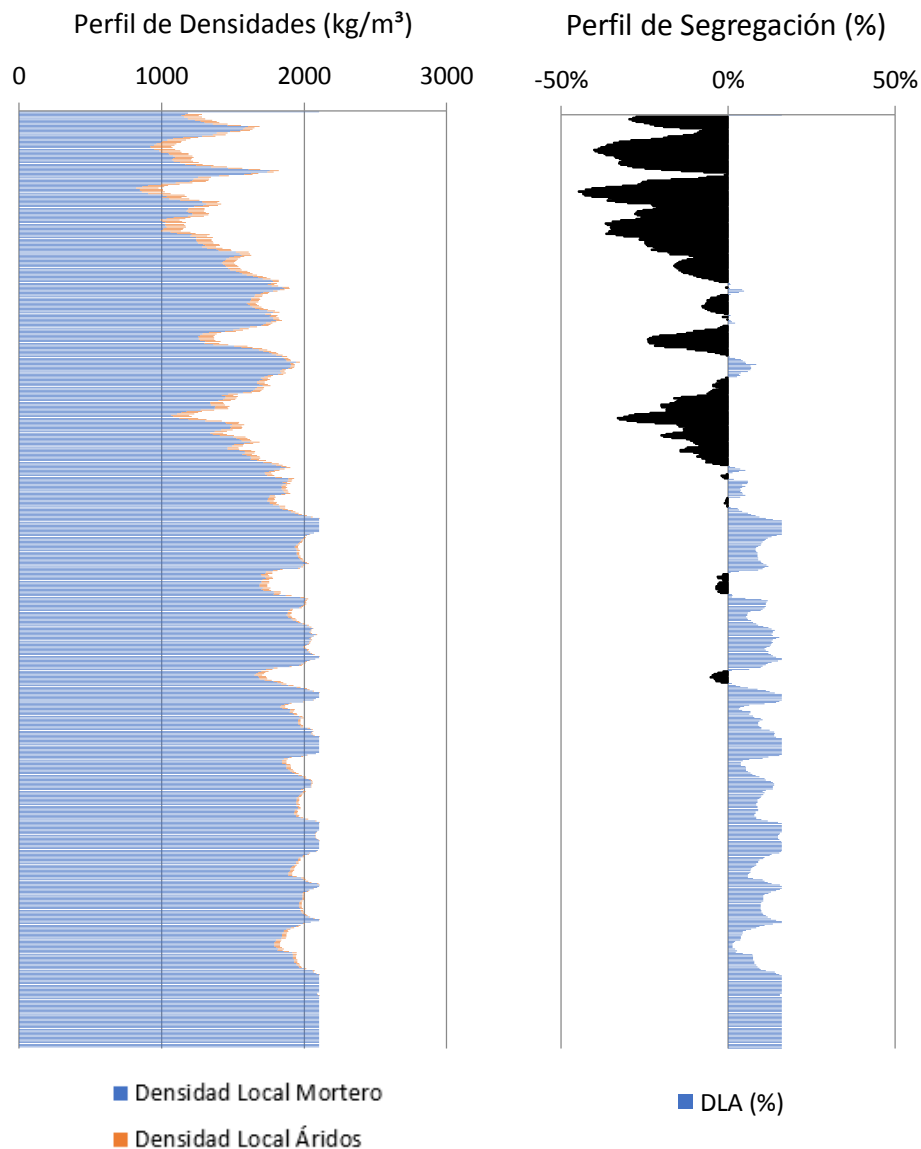
MUESTRA	
HL1900C15V80A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	16%
CDL (%) =	13%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	25320
Total de Ptos (2/3) =	8438
Total de Ptos (3/3) =	2281
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	21025
Total de Ptos (2/4) =	8020
Total de Ptos (3/4) =	5490
Total de Ptos (4/4) =	1432
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1813.893
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1425.655
D(2/4) =	1845.245
D(3/4) =	1926.872
D(4/4) =	2057.798
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.692806
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	167%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	49%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

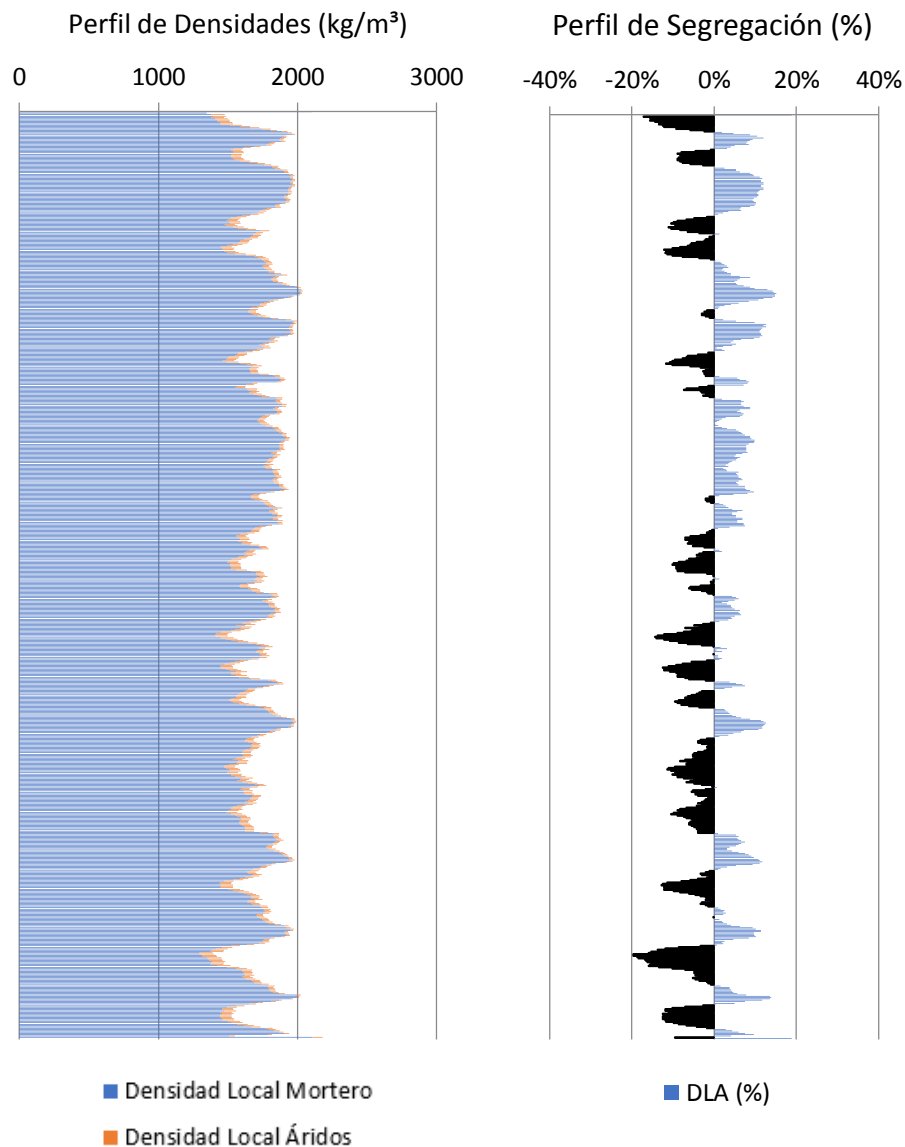


MUESTRA	
HL1900C15V80B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	16%
CDL (%) =	13%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	25134
Total de Ptos (2/3) =	8454
Total de Ptos (3/3) =	3325
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	20372
Total de Ptos (2/4) =	10048
Total de Ptos (3/4) =	4099
Total de Ptos (4/4) =	2294
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1807.069
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1446.723
D(2/4) =	1779.814
D(3/4) =	1971.751
D(4/4) =	2029.987
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.712676
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	153%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	47%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C30V0A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	19%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	12977
Total de Ptos (2/3) =	13870
Total de Ptos (3/3) =	16064
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	9428
Total de Ptos (2/4) =	9839
Total de Ptos (3/4) =	11875
Total de Ptos (4/4) =	11708
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1758.375
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1799.817
D(2/4) =	1786.557
D(3/4) =	1720.868
D(4/4) =	1726.256
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.042613
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	21%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	21%

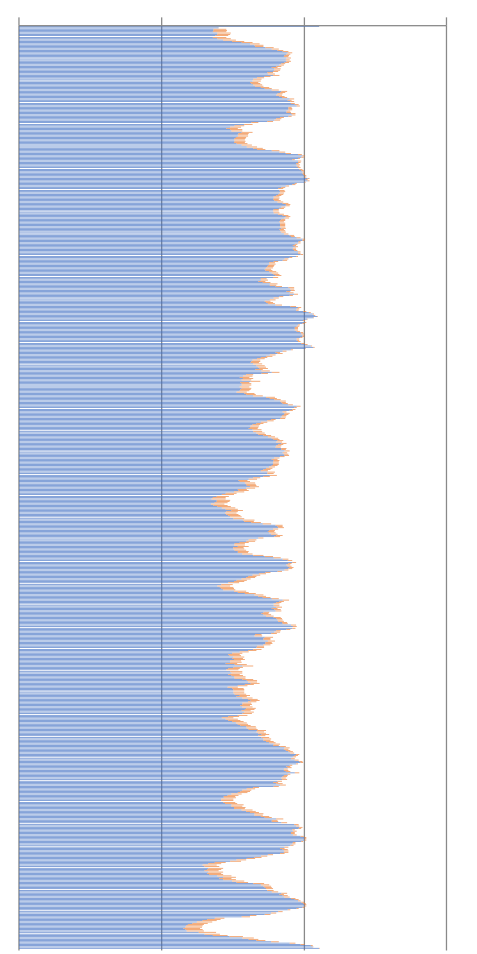


‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C30V0B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	18%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	10724
Total de Ptos (2/3) =	14630
Total de Ptos (3/3) =	16217
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	8531
Total de Ptos (2/4) =	8592
Total de Ptos (3/4) =	13211
Total de Ptos (4/4) =	11218
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1768.844
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1828.758
D(2/4) =	1826.79
D(3/4) =	1677.764
D(4/4) =	1742.065
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.049764
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	41%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	26%



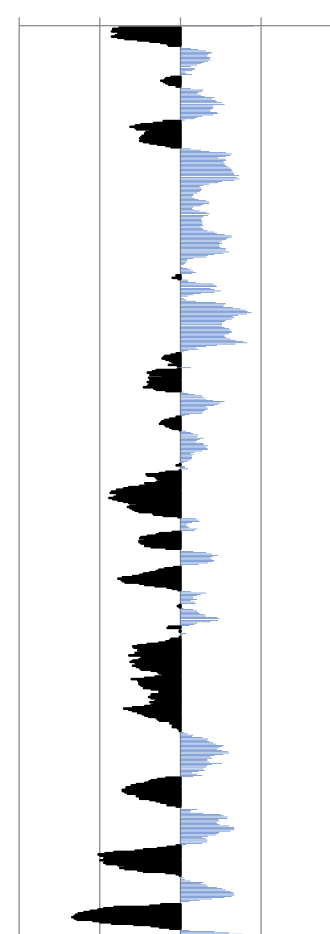
Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)



■ Densidad Local Mortero  
■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)

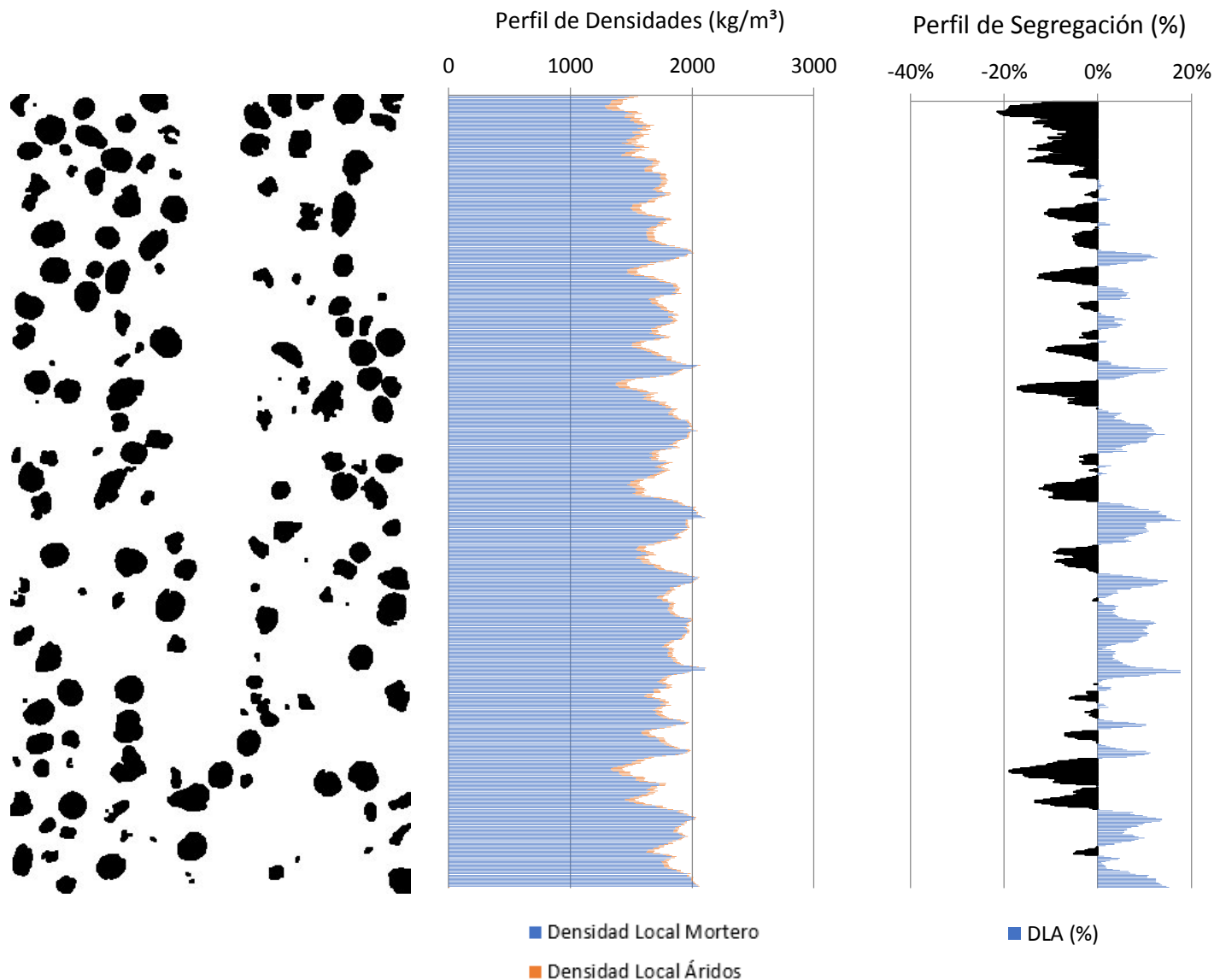
-40% -20% 0% 20% 40%



■ DLA (%)

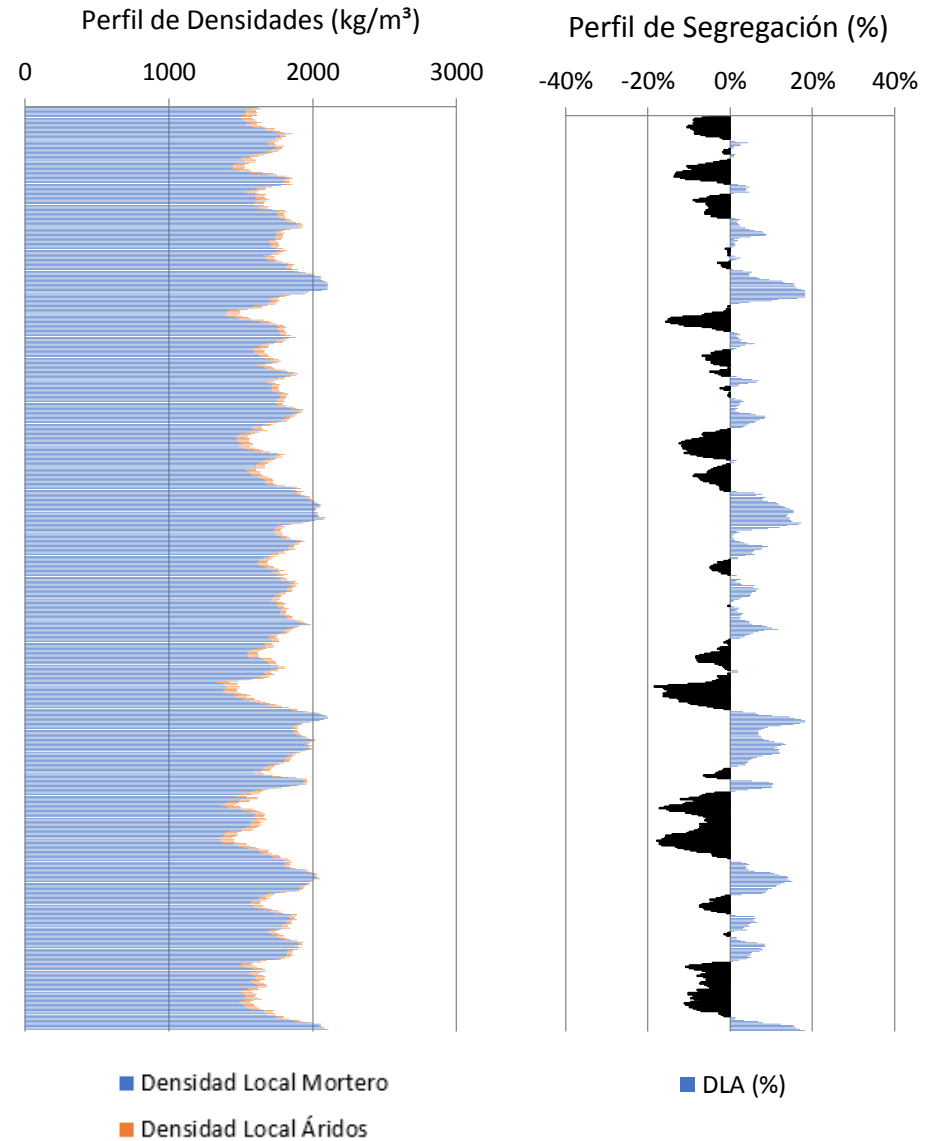
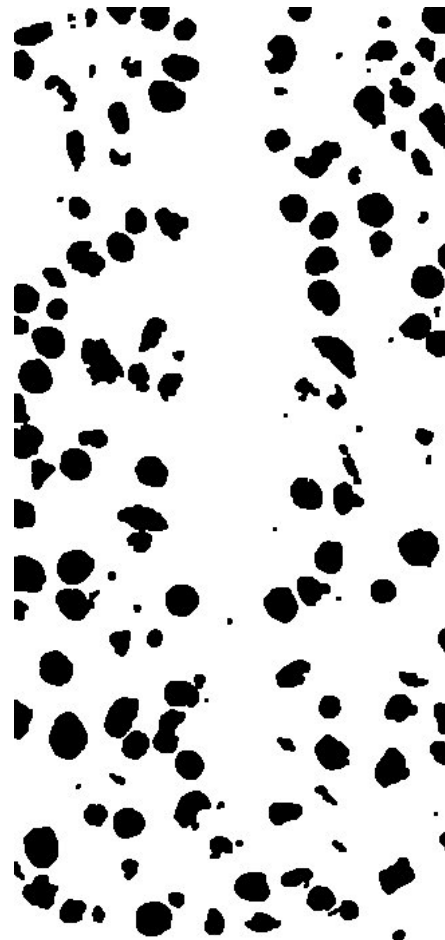
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C30V10A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	18%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	16577
Total de Ptos (2/3) =	11737
Total de Ptos (3/3) =	11921
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	12973
Total de Ptos (2/4) =	10141
Total de Ptos (3/4) =	7286
Total de Ptos (4/4) =	9787
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1779.854
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1685.443
D(2/4) =	1776.813
D(3/4) =	1868.926
D(4/4) =	1788.235
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.942517
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	33%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	23%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

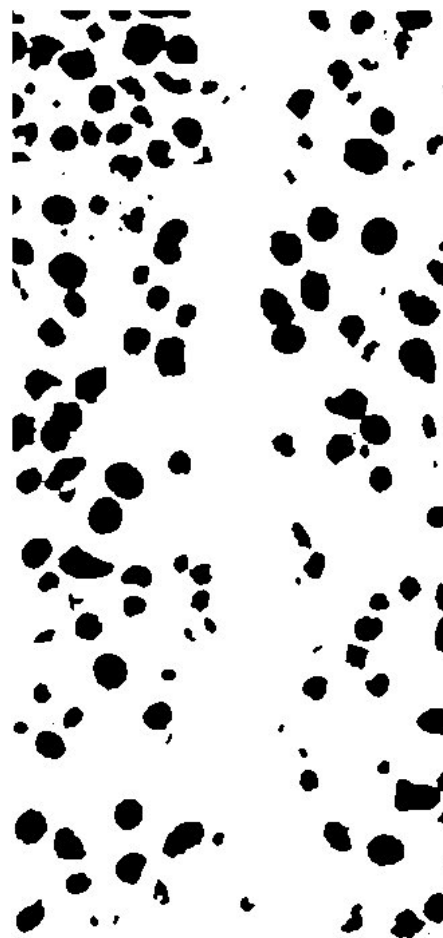
MUESTRA	
HL1900C30V10B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	18%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	14032
Total de Ptos (2/3) =	13389
Total de Ptos (3/3) =	14022
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	10660
Total de Ptos (2/4) =	9777
Total de Ptos (3/4) =	9602
Total de Ptos (4/4) =	11365
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1770.038
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1760.069
D(2/4) =	1788.557
D(3/4) =	1794.204
D(4/4) =	1737.323
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.013093
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	0%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	21%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

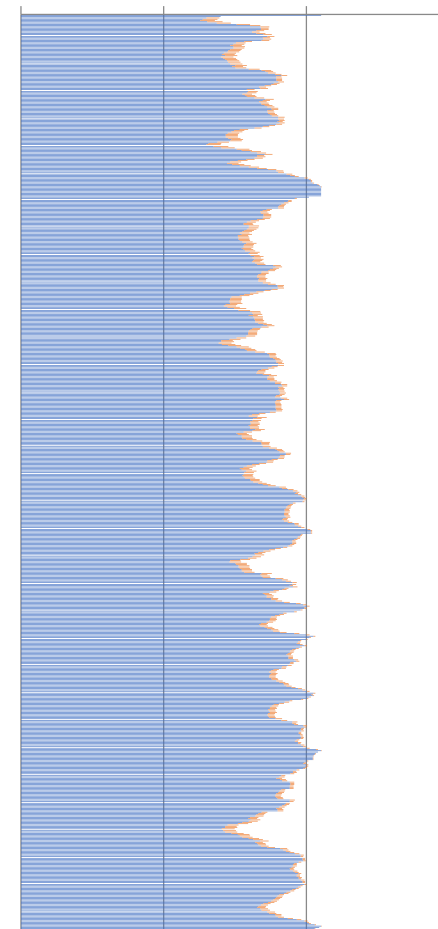


MUESTRA	
HL1900C30V20A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	17%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	16432
Total de Ptos (2/3) =	13231
Total de Ptos (3/3) =	9130
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	12025
Total de Ptos (2/4) =	11984
Total de Ptos (3/4) =	7558
Total de Ptos (4/4) =	7155
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1791.671
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1716.029
D(2/4) =	1717.351
D(3/4) =	1860.151
D(4/4) =	1873.153
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.916118
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	57%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	24%



Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)

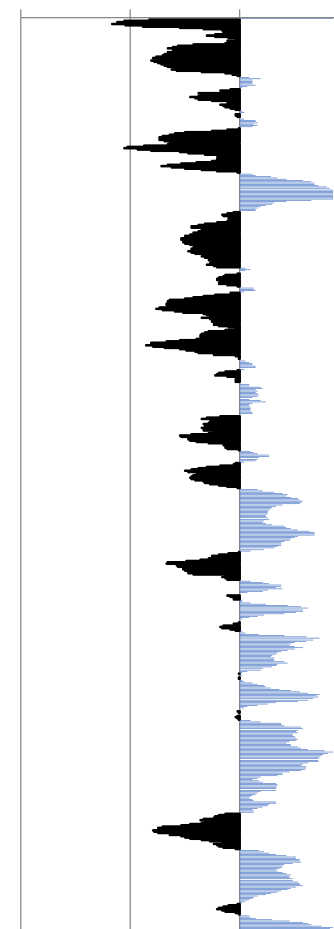
0 1000 2000 3000



■ Densidad Local Mortero  
■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)

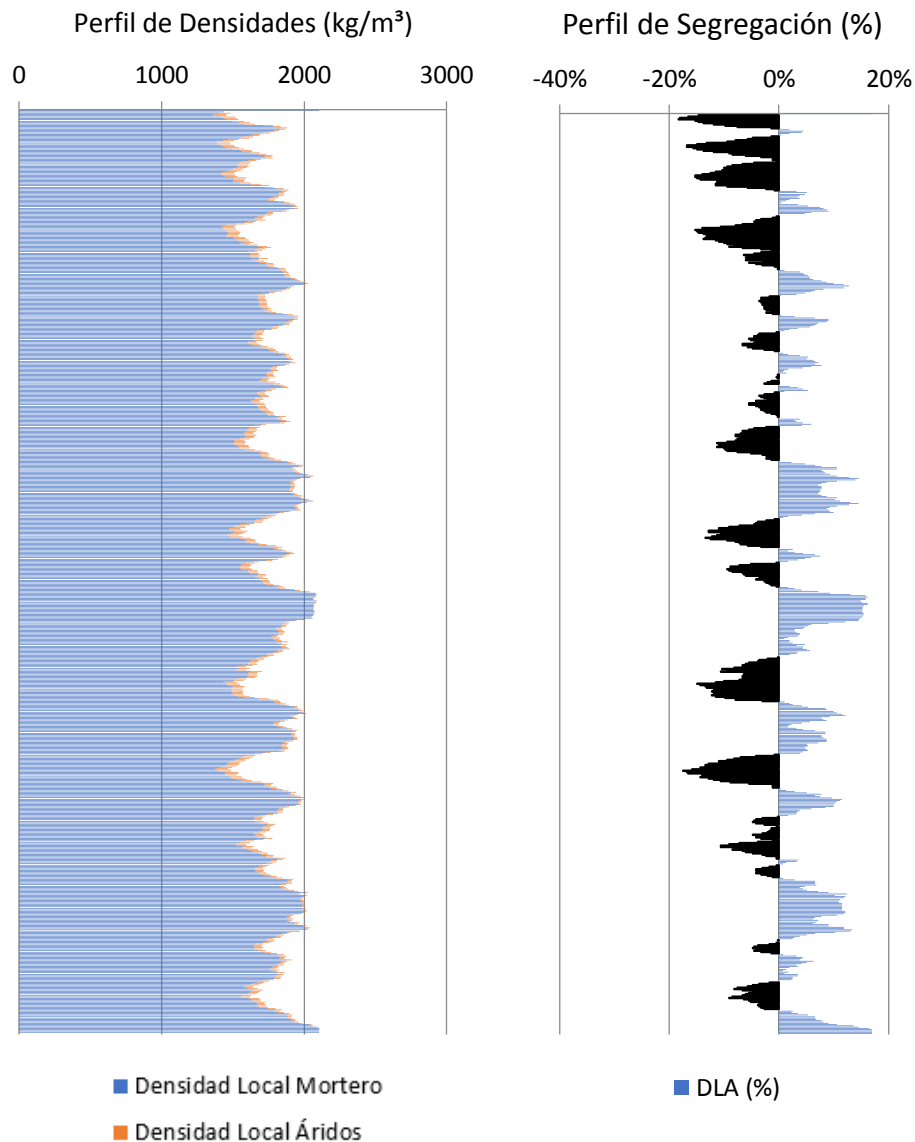
-40% -20% 0% 20%



■ DLA (%)

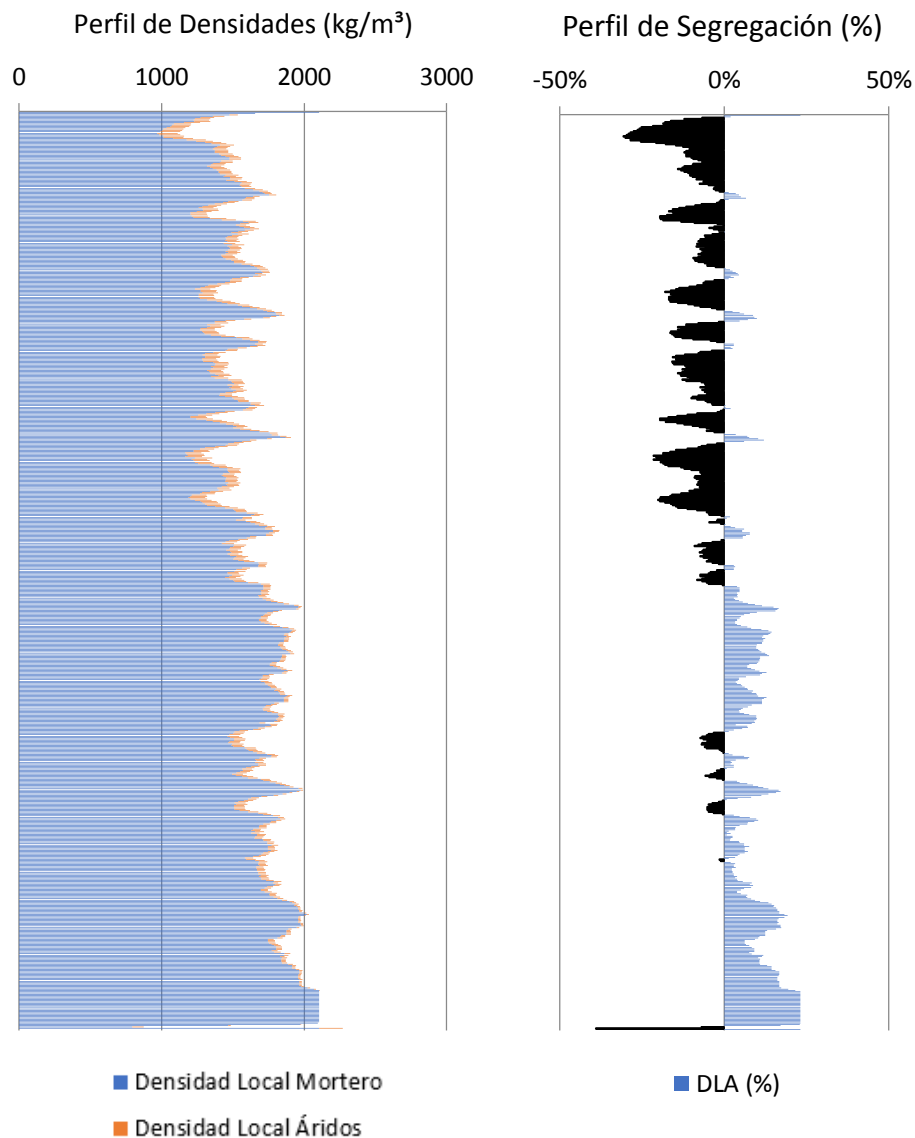
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C30V20B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	17%
CDL (%) =	7%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	14898
Total de Ptos (2/3) =	12087
Total de Ptos (3/3) =	11792
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	11629
Total de Ptos (2/4) =	9654
Total de Ptos (3/4) =	9049
Total de Ptos (4/4) =	8399
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1791.598
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1728.805
D(2/4) =	1792.526
D(3/4) =	1812.045
D(4/4) =	1833.017
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.943147
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	23%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	23%



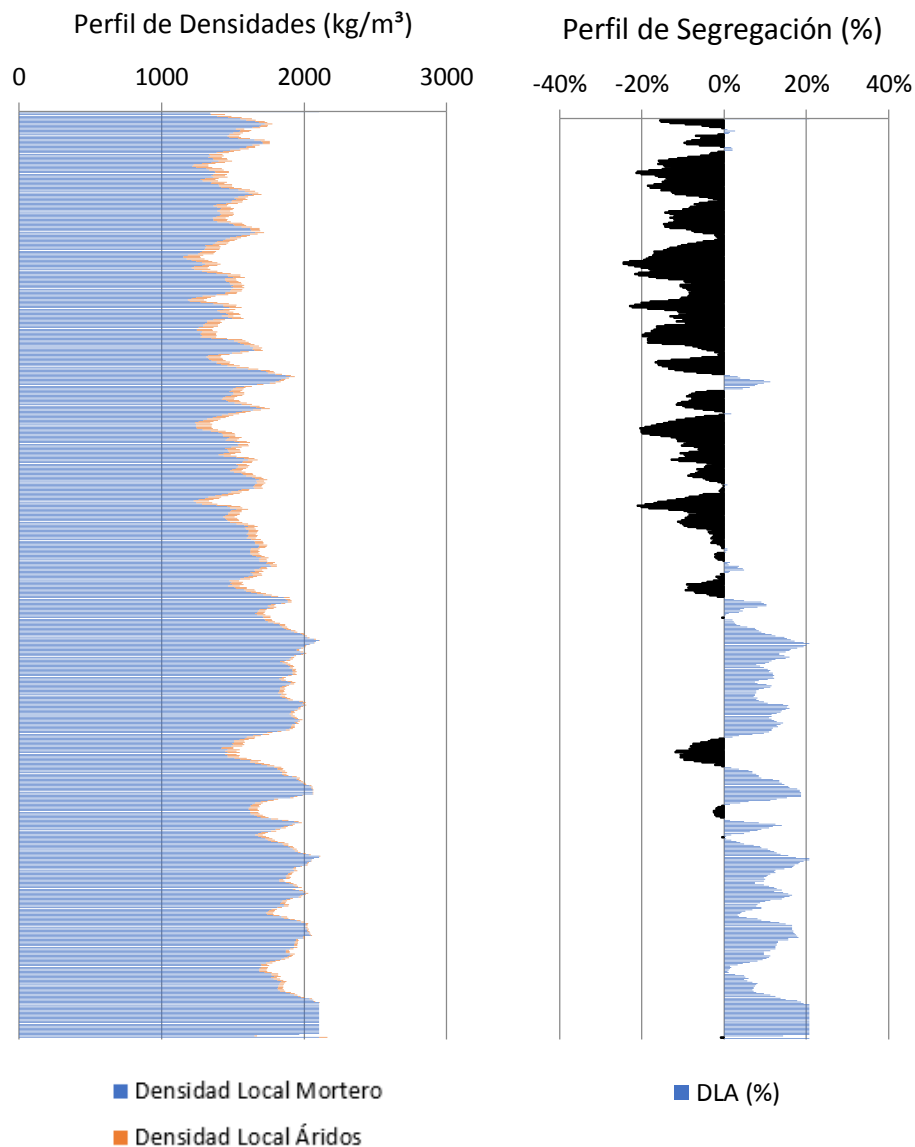
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C30V40A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	23%
CDL (%) =	9%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	24276
Total de Ptos (2/3) =	17451
Total de Ptos (3/3) =	11334
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	18237
Total de Ptos (2/4) =	17294
Total de Ptos (3/4) =	10080
Total de Ptos (4/4) =	7311
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1677.135
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1515.606
D(2/4) =	1546.031
D(3/4) =	1778.782
D(4/4) =	1868.12
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.8113
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	73%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	26%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C30V40B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	21%
CDL (%) =	10%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	23524
Total de Ptos (2/3) =	15166
Total de Ptos (3/3) =	8736
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	18472
Total de Ptos (2/4) =	15369
Total de Ptos (3/4) =	7986
Total de Ptos (4/4) =	5474
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1722.473
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1508.024
D(2/4) =	1608.139
D(3/4) =	1846.342
D(4/4) =	1927.388
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.782418
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	92%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	31%



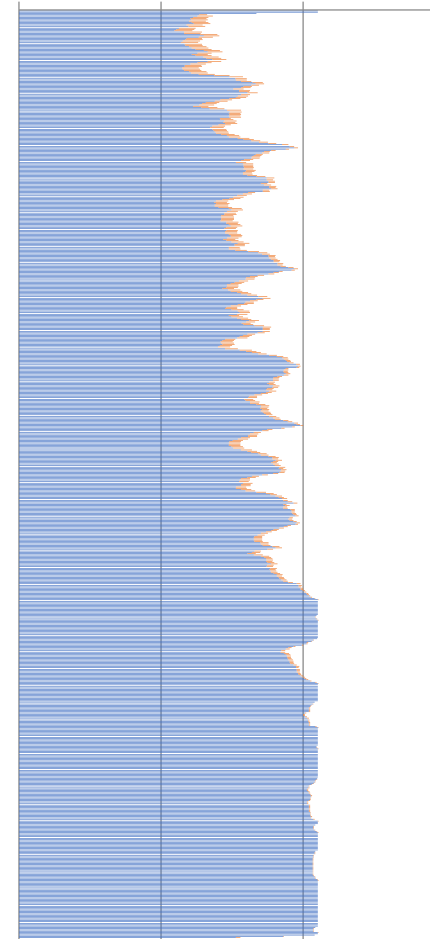
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C30V80A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	16%
CDL (%) =	12%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	22028
Total de Ptos (2/3) =	11707
Total de Ptos (3/3) =	1760
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	17592
Total de Ptos (2/4) =	11578
Total de Ptos (3/4) =	5318
Total de Ptos (4/4) =	932
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1818.305
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1536.416
D(2/4) =	1730.45
D(3/4) =	1932.421
D(4/4) =	2073.93
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.740824
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	170%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	44%



Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)

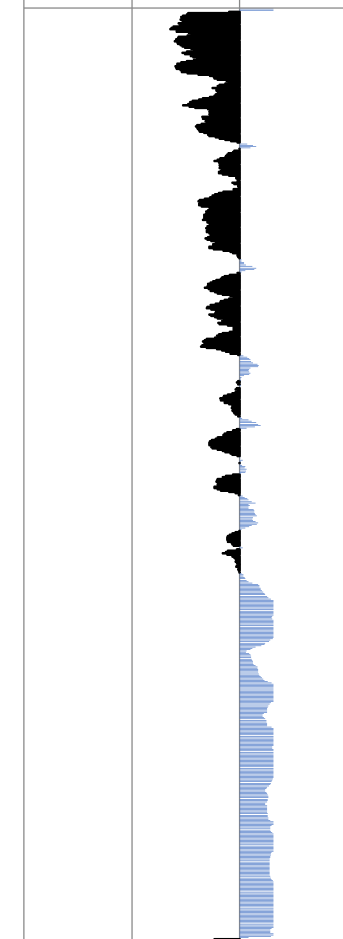
0 1000 2000 3000



■ Densidad Local Mortero  
■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)

-100% -50% 0% 50%

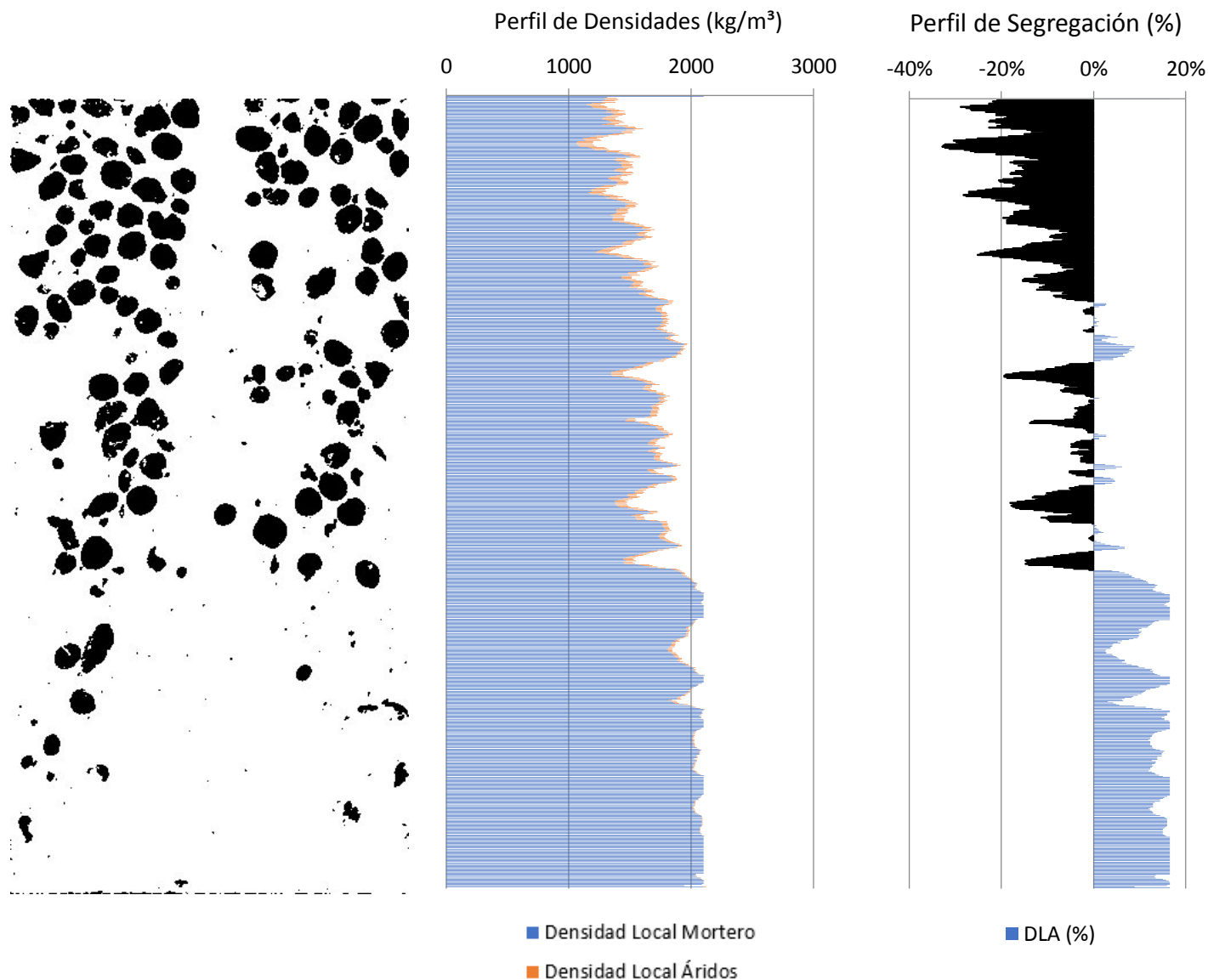


■ DLA (%)

‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

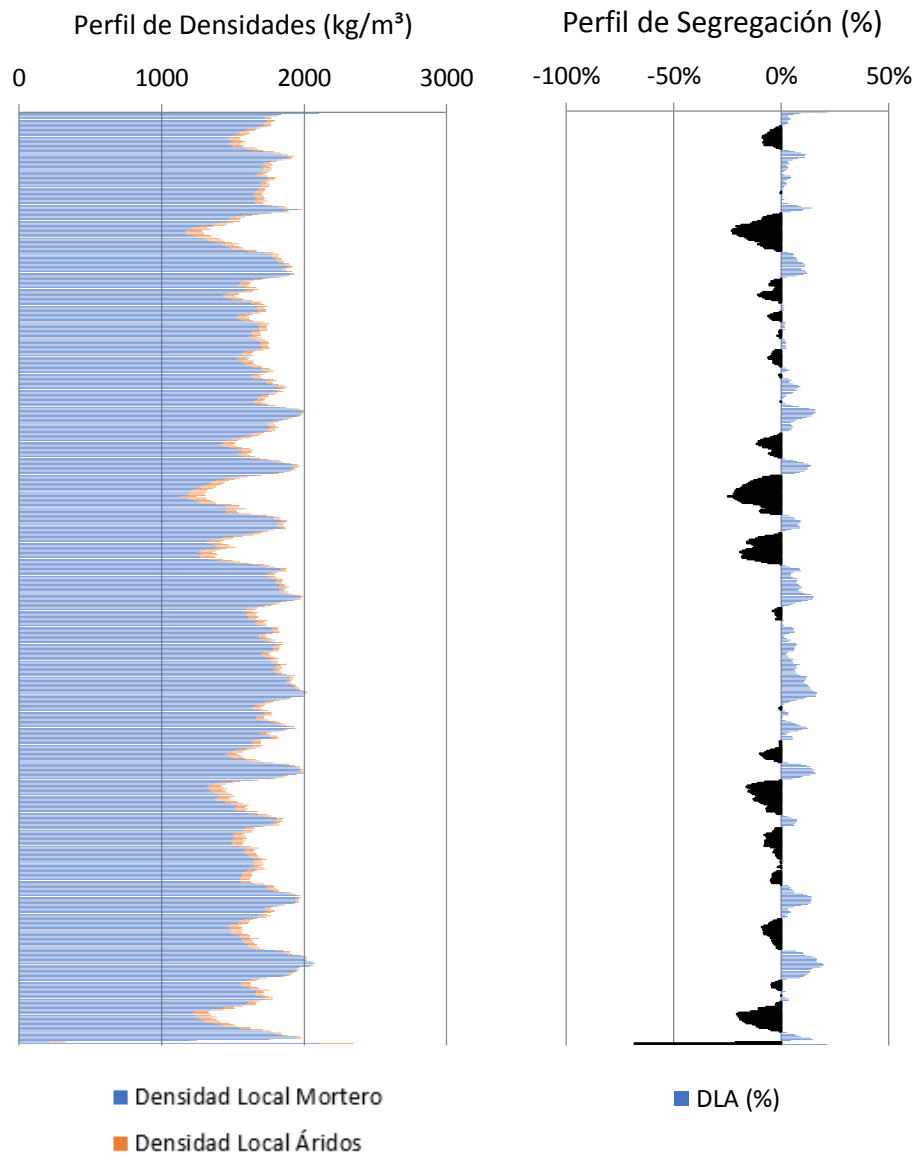


MUESTRA	
HL1900C30V80B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	17%
CDL (%) =	11%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	21964
Total de Ptos (2/3) =	13361
Total de Ptos (3/3) =	2550
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	19106
Total de Ptos (2/4) =	10666
Total de Ptos (3/4) =	6819
Total de Ptos (4/4) =	1230
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1798.938
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1487.569
D(2/4) =	1759.875
D(3/4) =	1883.994
D(4/4) =	2064.316
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.720611
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	158%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	41%



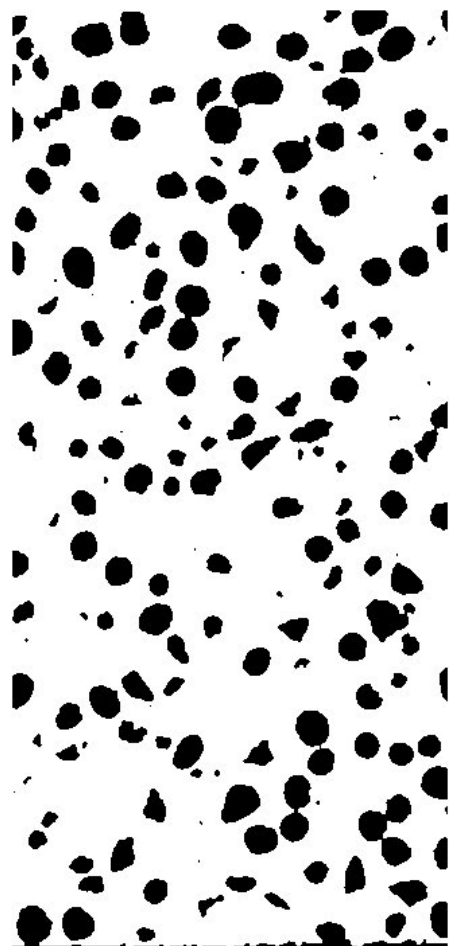
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C60V0A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	21%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	16174
Total de Ptos (2/3) =	15772
Total de Ptos (3/3) =	16815
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	12741
Total de Ptos (2/4) =	13345
Total de Ptos (3/4) =	10351
Total de Ptos (4/4) =	12269
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1711.141
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1692.928
D(2/4) =	1673.44
D(3/4) =	1770.038
D(4/4) =	1708.156
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.991085
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	4%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	21%

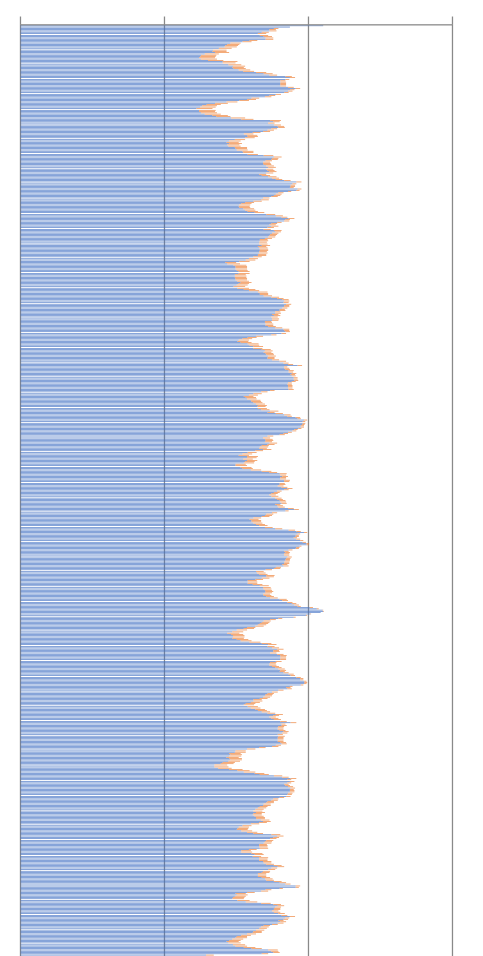


‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C60V0B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	20%
CDL (%) =	6%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	16900
Total de Ptos (2/3) =	12916
Total de Ptos (3/3) =	15349
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	12789
Total de Ptos (2/4) =	10699
Total de Ptos (3/4) =	9249
Total de Ptos (4/4) =	12347
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1740.355
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1691.379
D(2/4) =	1758.81
D(3/4) =	1805.593
D(4/4) =	1705.64
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.991639
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	10%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	19%

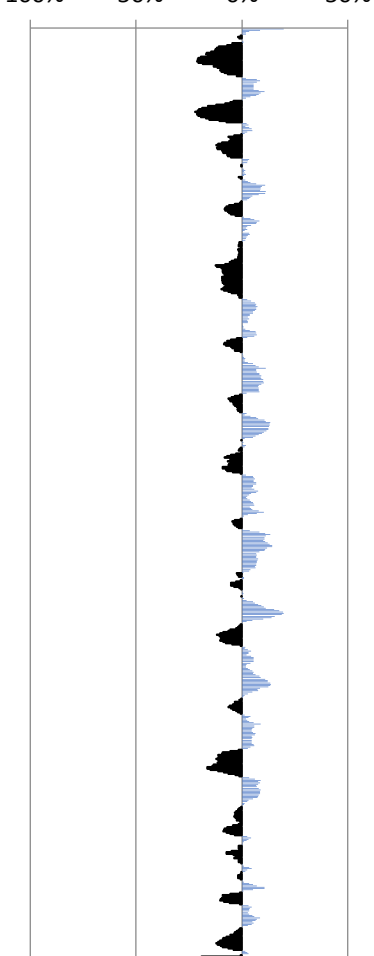


Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)



■ Densidad Local Mortero  
■ Densidad Local Áridos

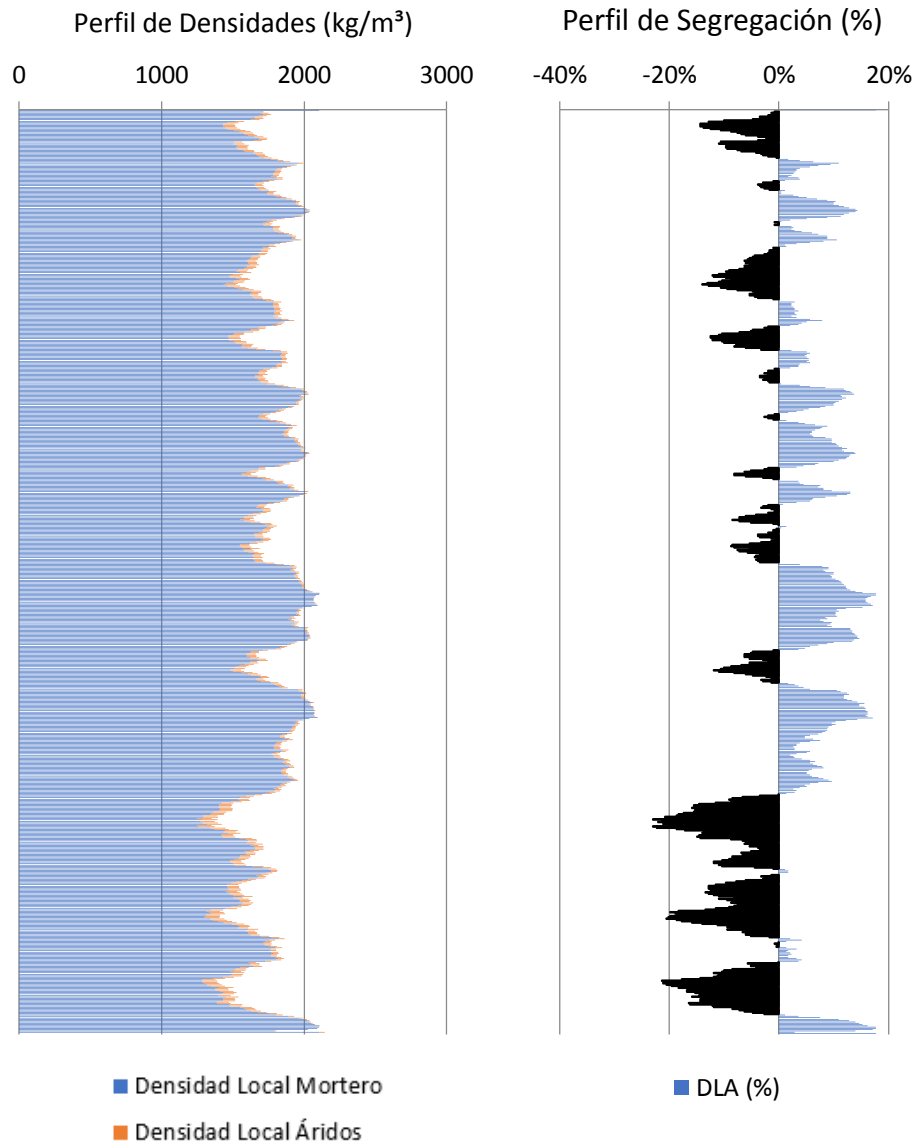
Perfil de Segregación (%)



■ DLA (%)

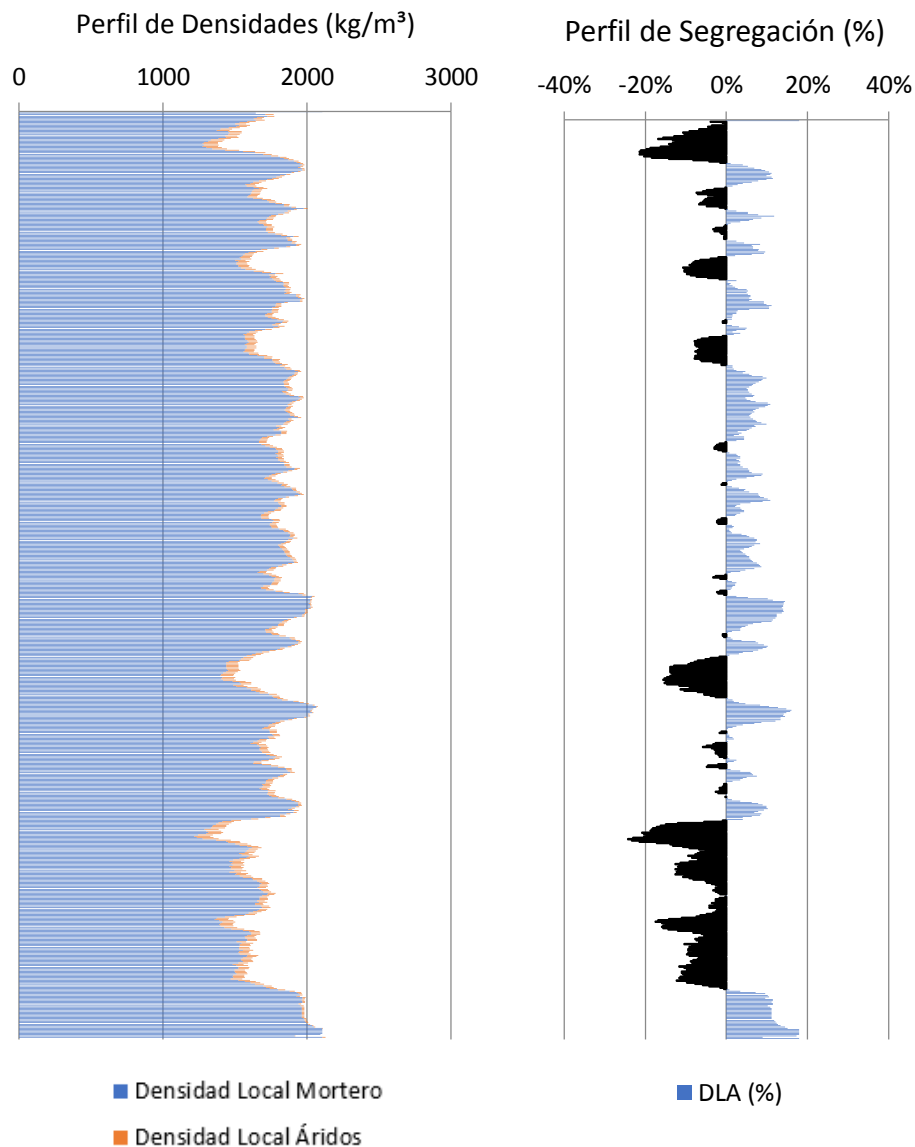
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C60V10A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	18%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	13541
Total de Ptos (2/3) =	9419
Total de Ptos (3/3) =	17322
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	10724
Total de Ptos (2/4) =	8559
Total de Ptos (3/4) =	6192
Total de Ptos (4/4) =	14743
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1779.604
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1758.004
D(2/4) =	1827.855
D(3/4) =	1904.223
D(4/4) =	1628.336
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.079632
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	25%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	27%



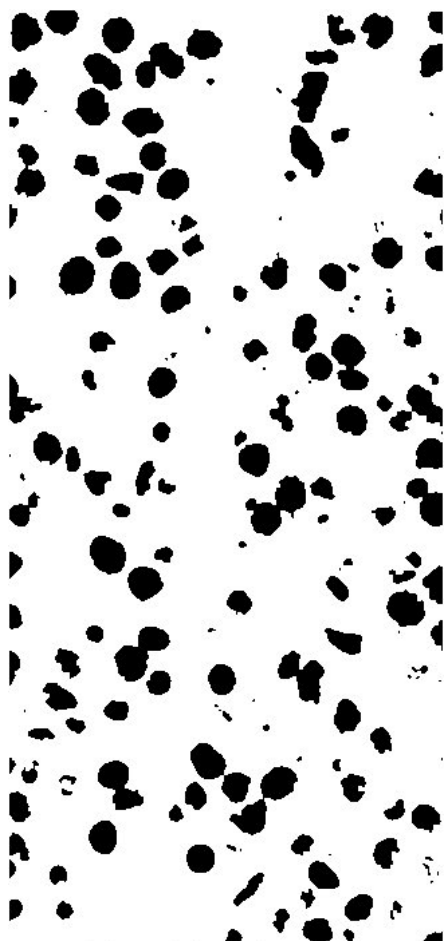
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C60V10B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	18%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	13597
Total de Ptos (2/3) =	11509
Total de Ptos (3/3) =	15673
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	10938
Total de Ptos (2/4) =	8098
Total de Ptos (3/4) =	9238
Total de Ptos (4/4) =	12470
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1775.362
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1751.099
D(2/4) =	1842.728
D(3/4) =	1805.948
D(4/4) =	1701.671
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.029047
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	14%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	23%

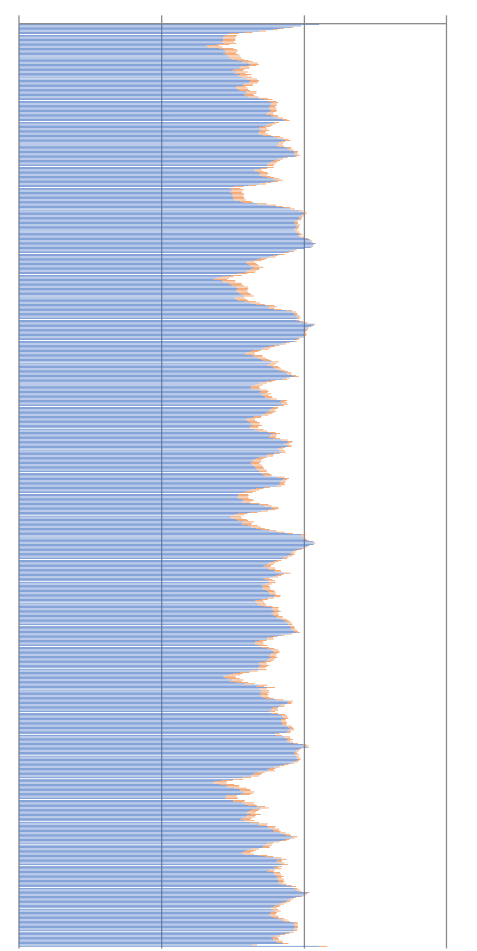


‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C60V20A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<b>1.1 Distribución Global</b>	
IAG (%) =	17%
CDL (%) =	6%
<b>1.2 Distribución em 3 Zonas</b>	
Total de Ptos (1/3) =	14048
Total de Ptos (2/3) =	12358
Total de Ptos (3/3) =	12512
<b>1.3 Distribución em 4 Zonas</b>	
Total de Ptos (1/4) =	10327
Total de Ptos (2/4) =	9951
Total de Ptos (3/4) =	9754
Total de Ptos (4/4) =	8870
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<b>2.1 Mitades de Probeta</b>	
Dmp =	1790.219
<b>2.2 Cuartos de Probeta</b>	
D(1/4) =	1770.812
D(2/4) =	1782.944
D(3/4) =	1789.3
D(4/4) =	1817.821
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<b>3.1 Según Ke et al</b>	
IS (Ke) =	0.97414
<b>3.2 Según Navarrete et al</b>	
IS (Navarrete) =	12%
Concepto:	
<b>3.3 Según Solak</b>	
IS vertical (Solak) =	22%

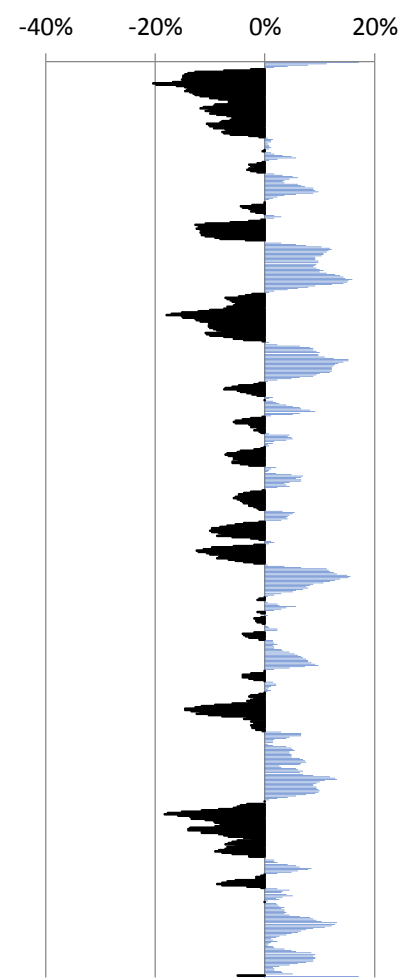


Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)



■ Densidad Local Mortero  
■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)



■ DLA (%)

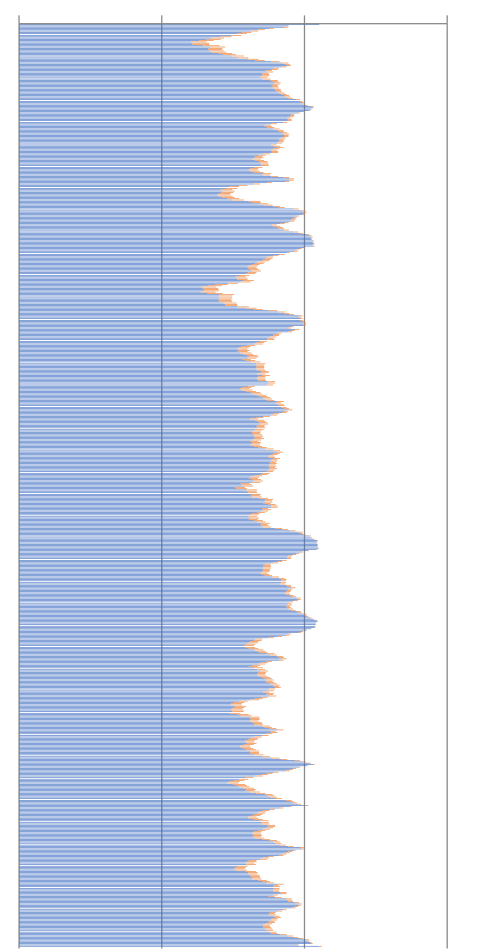
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.



MUESTRA	
HL1900C60V20B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	17%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	13808
Total de Ptos (2/3) =	12232
Total de Ptos (3/3) =	13782
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	9501
Total de Ptos (2/4) =	11822
Total de Ptos (3/4) =	8657
Total de Ptos (4/4) =	9809
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1783.065
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1797.462
D(2/4) =	1722.578
D(3/4) =	1824.693
D(4/4) =	1787.525
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.005559
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	0%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	22%

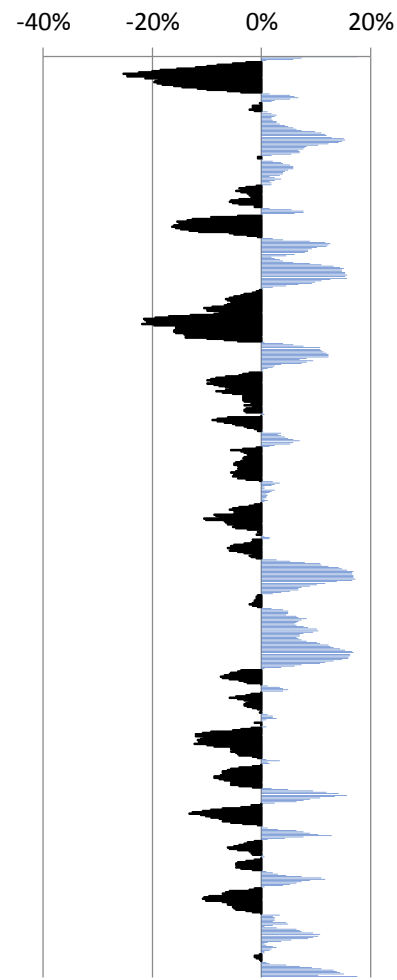


Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)



■ Densidad Local Mortero  
■ Densidad Local Áridos

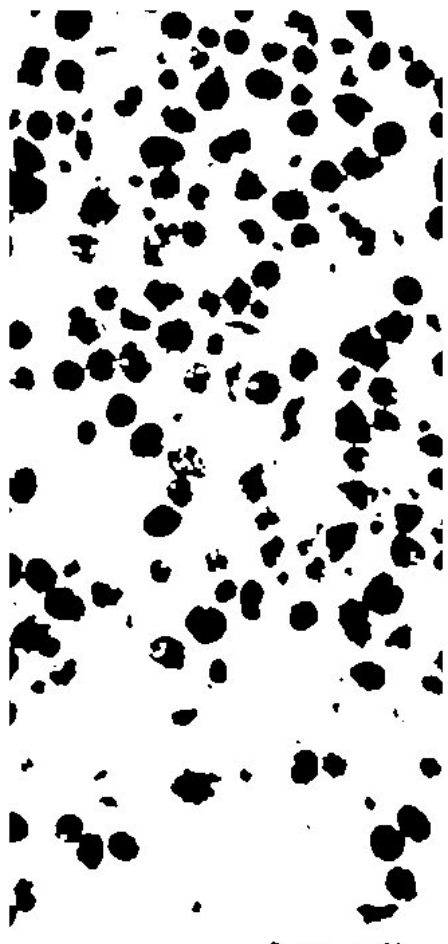
Perfil de Segregación (%)



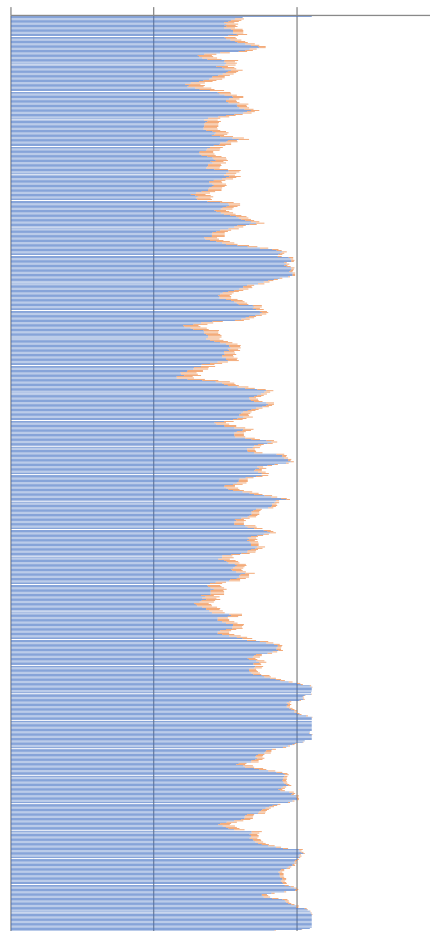
■ DLA (%)

‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C60V40A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	21%
CDL (%) =	9%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	20583
Total de Ptos (2/3) =	19432
Total de Ptos (3/3) =	8374
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	17266
Total de Ptos (2/4) =	13072
Total de Ptos (3/4) =	12287
Total de Ptos (4/4) =	5657
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1714.561
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1546.934
D(2/4) =	1682.248
D(3/4) =	1707.575
D(4/4) =	1921.484
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.805073
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	84%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	28%


Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)

0 1000 2000 3000

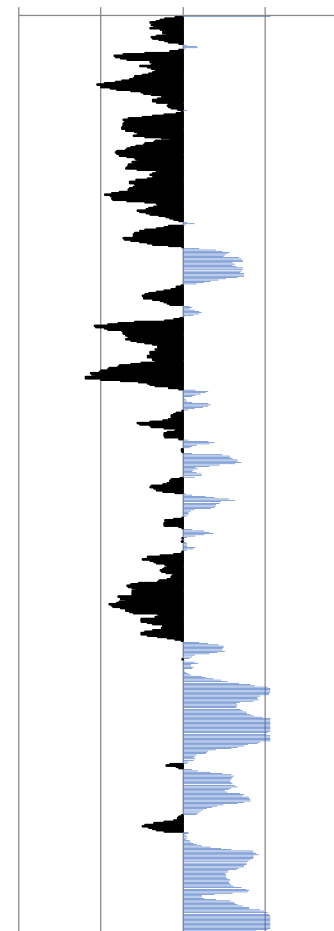


■ Densidad Local Mortero

■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)

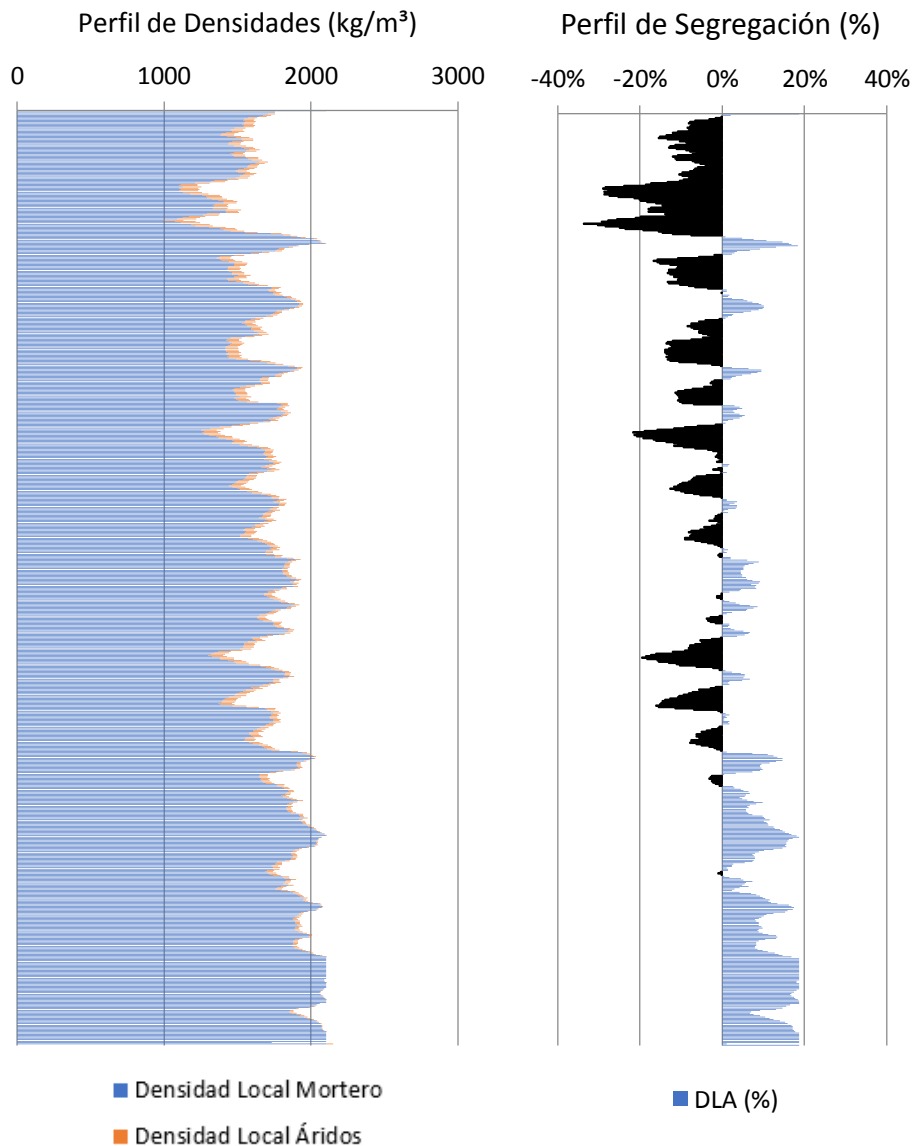
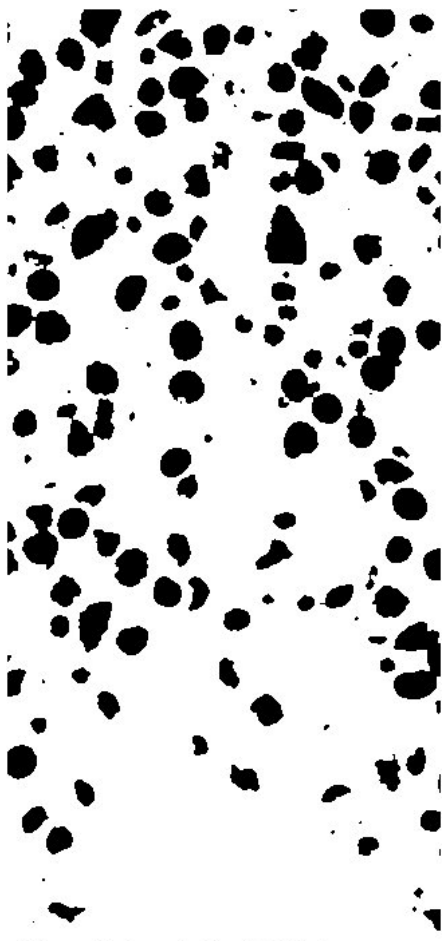
-40% -20% 0% 20% 40%



■ DLA (%)

‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C60V40B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	19%
CDL (%) =	9%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	19715
Total de Ptos (2/3) =	16376
Total de Ptos (3/3) =	6472
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	15447
Total de Ptos (2/4) =	12618
Total de Ptos (3/4) =	10805
Total de Ptos (4/4) =	3627
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1761.222
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1605.622
D(2/4) =	1696.896
D(3/4) =	1755.39
D(4/4) =	1986.979
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.808072
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	101%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	29%



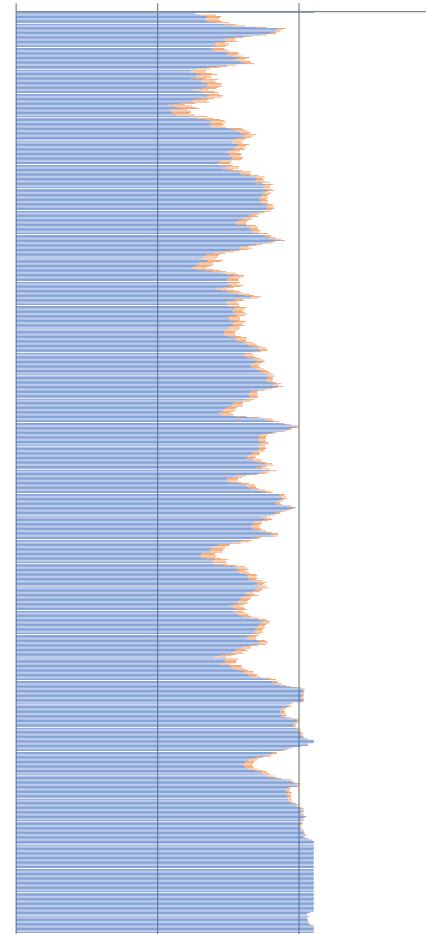
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C60V80A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	19%
CDL (%) =	9%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	21606
Total de Ptos (2/3) =	16285
Total de Ptos (3/3) =	6521
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	15947
Total de Ptos (2/4) =	13405
Total de Ptos (3/4) =	11973
Total de Ptos (4/4) =	2995
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1746.518
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1589.49
D(2/4) =	1671.505
D(3/4) =	1717.706
D(4/4) =	2007.37
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.791827
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	107%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	30%



Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)

0 1000 2000 3000

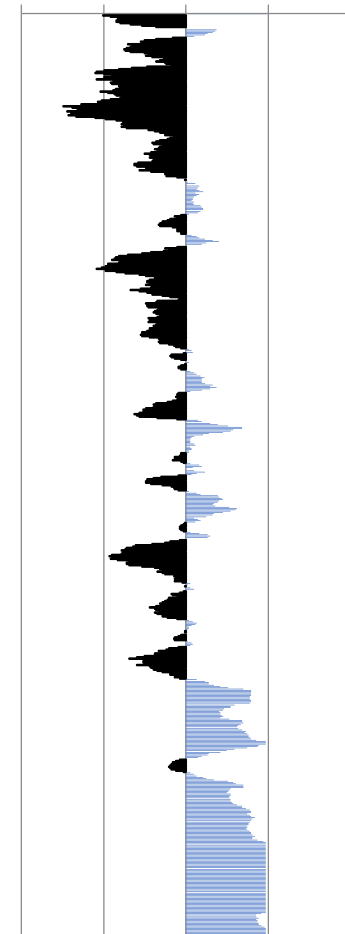


■ Densidad Local Mortero

■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)

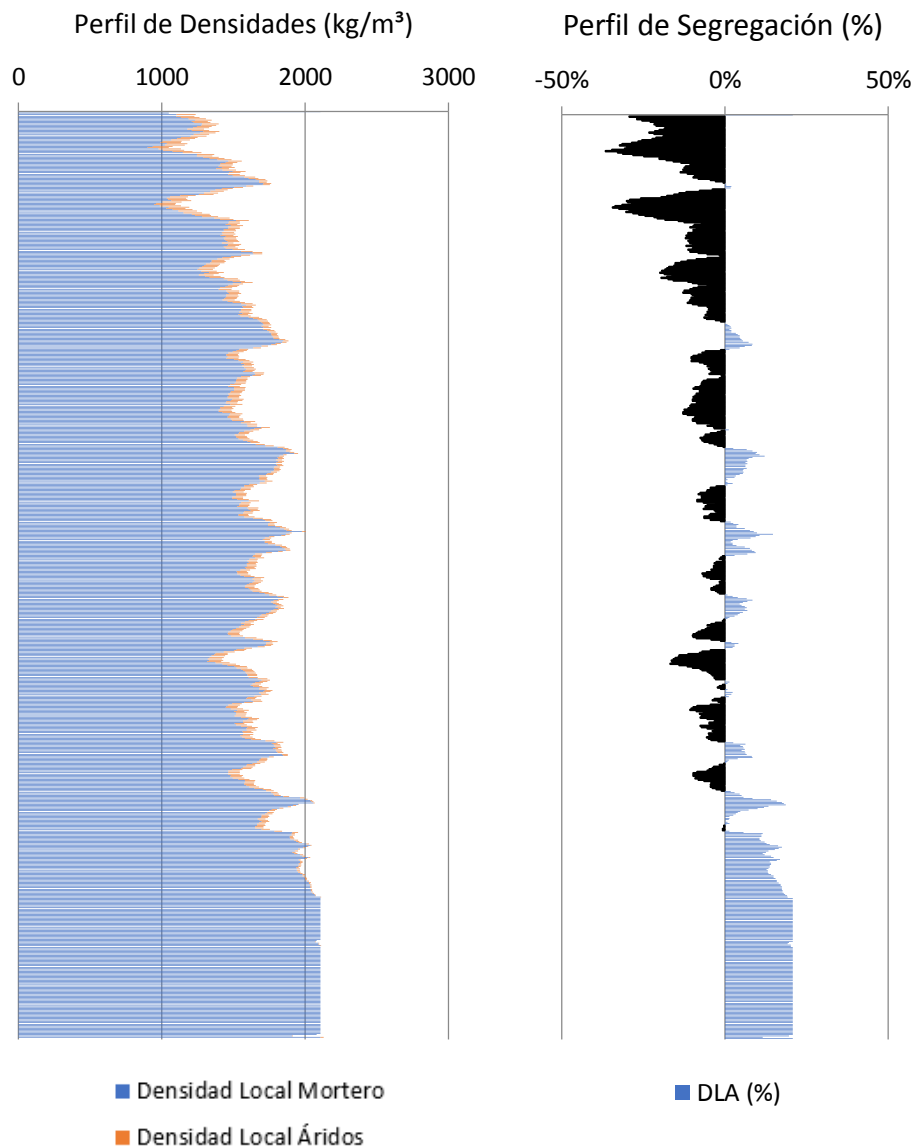
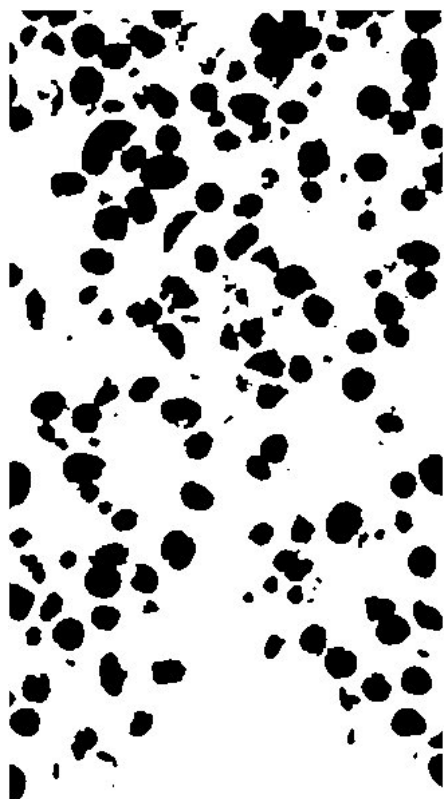
-40% -20% 0% 20% 40%



■ DLA (%)

‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C60V80B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	21%
CDL (%) =	11%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	24650
Total de Ptos (2/3) =	16983
Total de Ptos (3/3) =	5858
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	19264
Total de Ptos (2/4) =	13097
Total de Ptos (3/4) =	12878
Total de Ptos (4/4) =	2157
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1721.707
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1482.471
D(2/4) =	1681.442
D(3/4) =	1688.508
D(4/4) =	2034.407
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.728699
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	123%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	32%

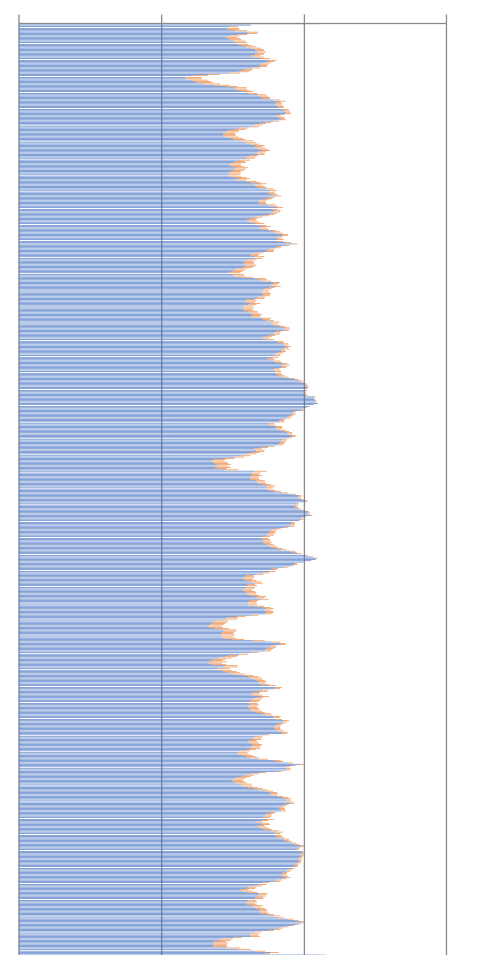


‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C90V0A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	19%
CDL (%) =	7%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	16589
Total de Ptos (2/3) =	12107
Total de Ptos (3/3) =	14184
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	12594
Total de Ptos (2/4) =	9496
Total de Ptos (3/4) =	10944
Total de Ptos (4/4) =	9797
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1758.528
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1697.671
D(2/4) =	1797.624
D(3/4) =	1750.906
D(4/4) =	1787.912
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.949527
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	16%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	22%

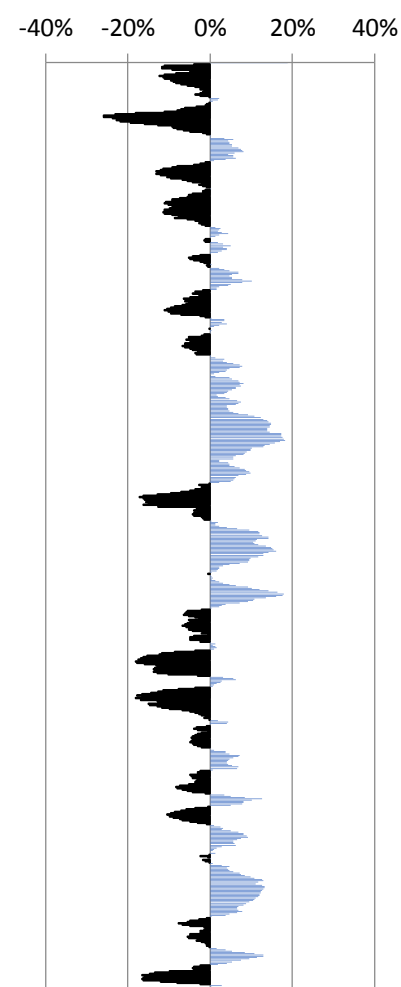


Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)



■ Densidad Local Mortero  
■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)

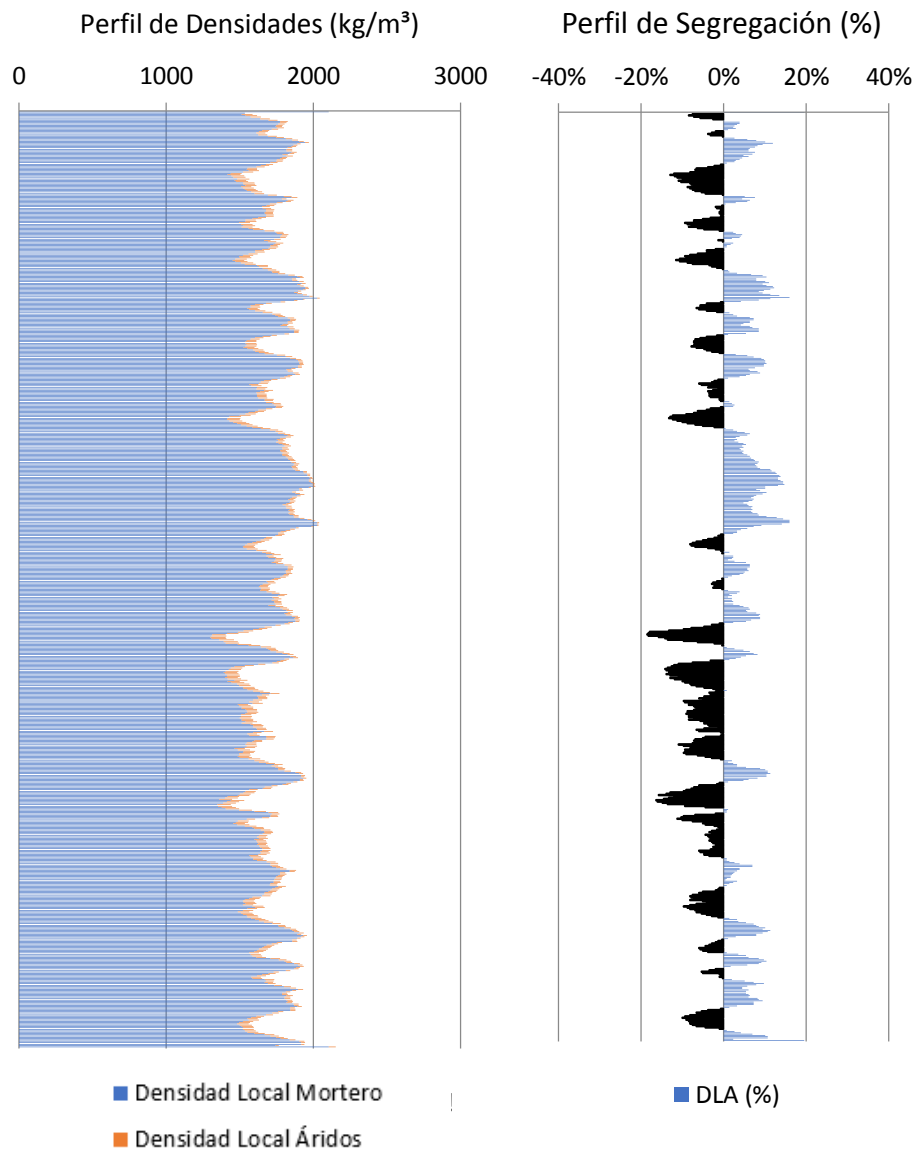
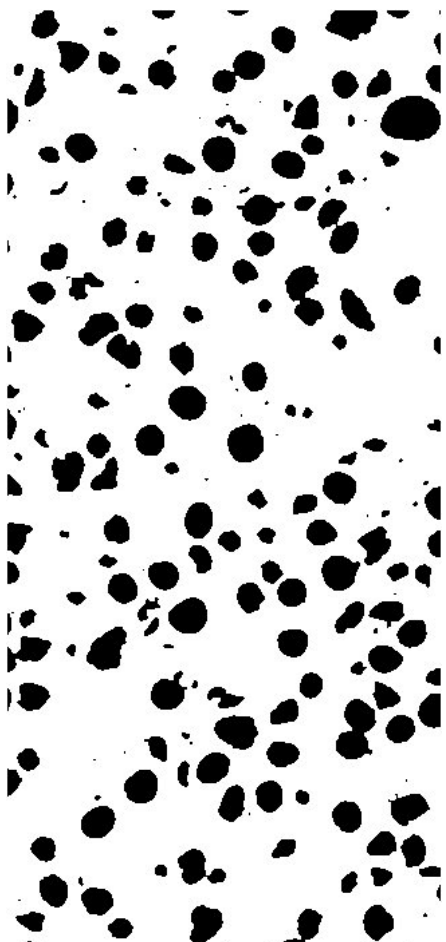


■ DLA (%)

‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

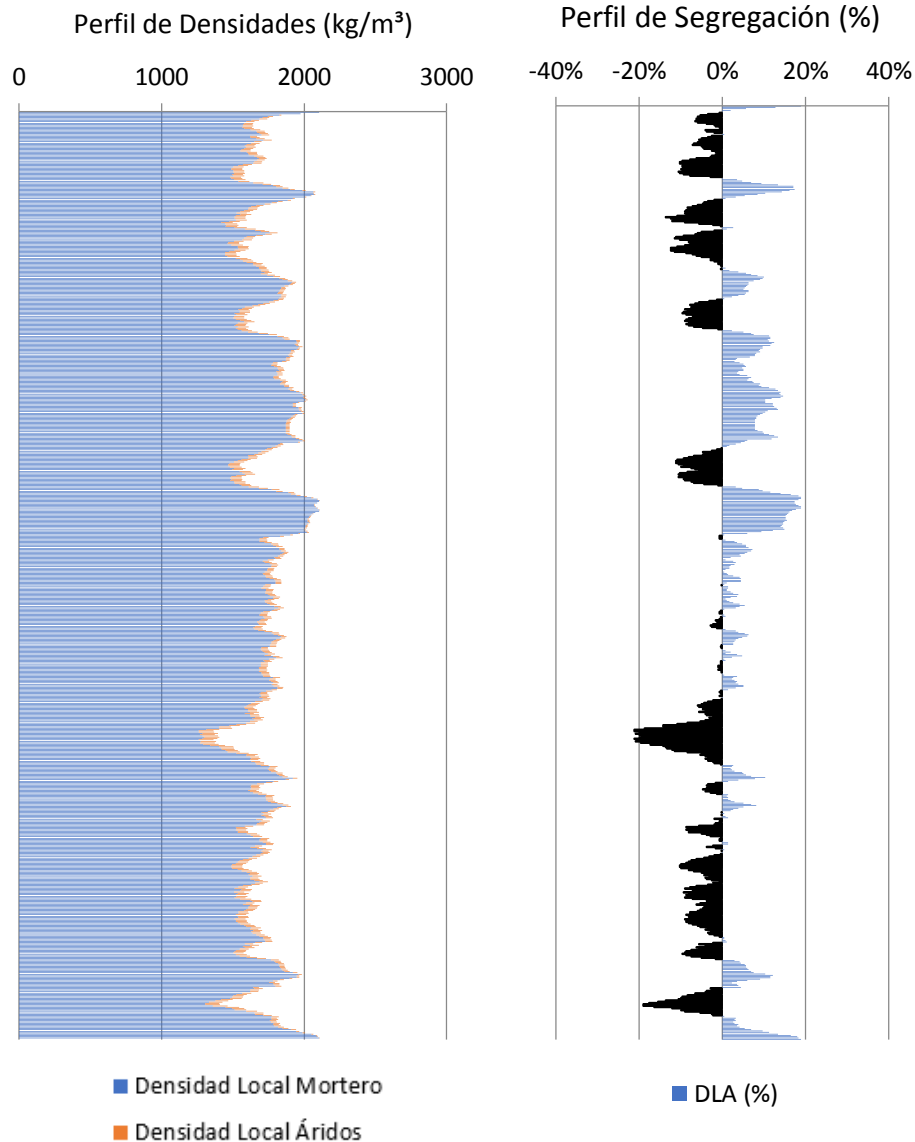
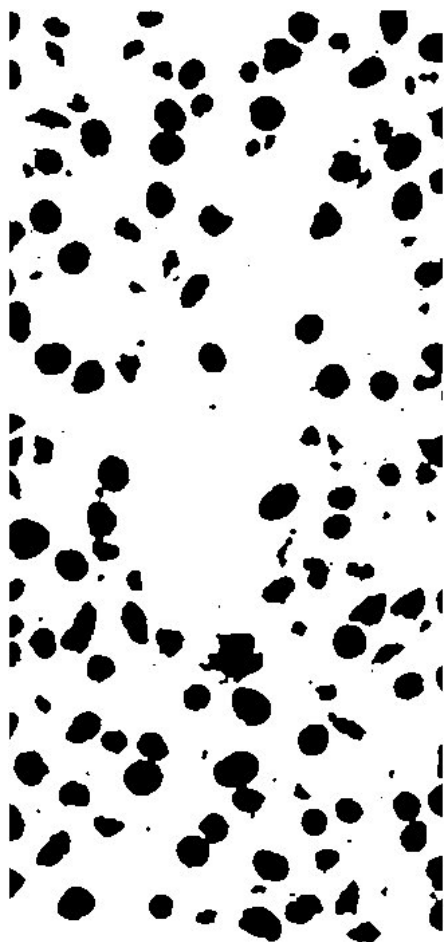


MUESTRA	
HL1900C90V0B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	20%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	14833
Total de Ptos (2/3) =	14350
Total de Ptos (3/3) =	15516
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	10950
Total de Ptos (2/4) =	9228
Total de Ptos (3/4) =	13308
Total de Ptos (4/4) =	11117
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1744.235
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1750.712
D(2/4) =	1806.27
D(3/4) =	1674.634
D(4/4) =	1745.324
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.003087
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	5%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	19%



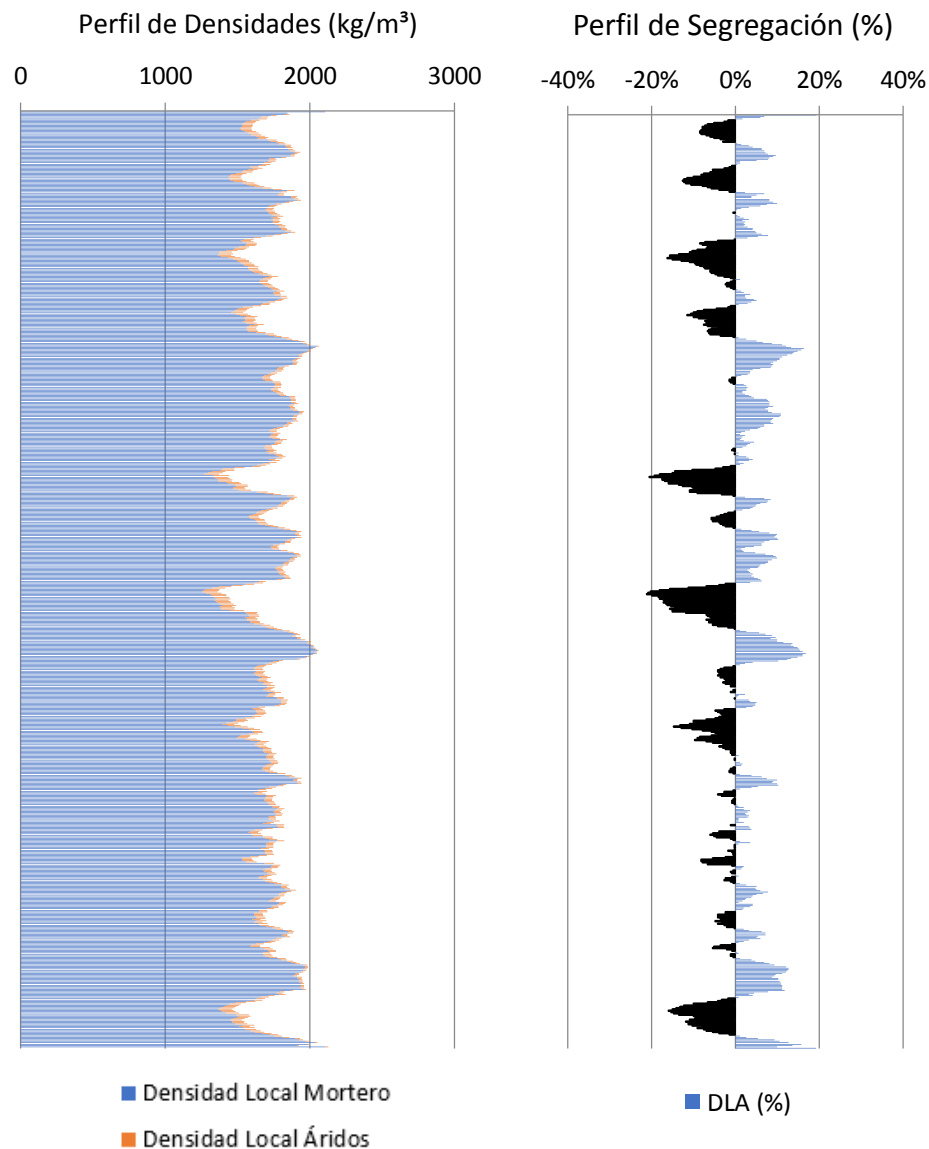
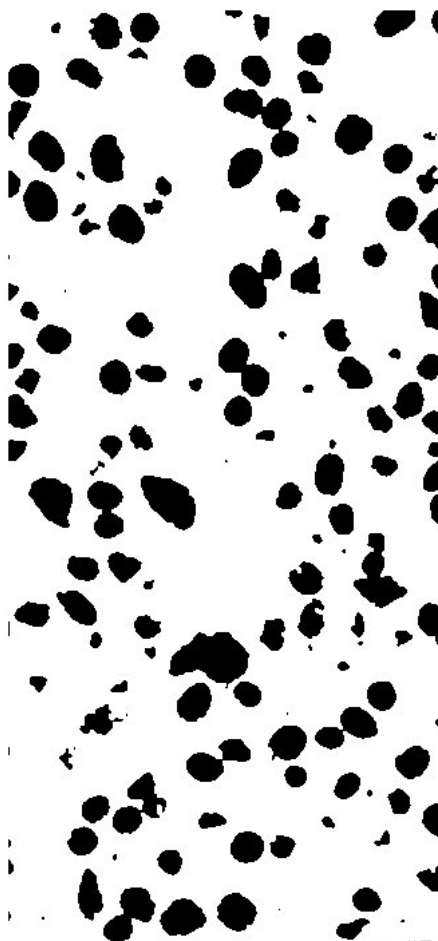
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C90V10A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	19%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	13972
Total de Ptos (2/3) =	12539
Total de Ptos (3/3) =	16679
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	12062
Total de Ptos (2/4) =	7224
Total de Ptos (3/4) =	11688
Total de Ptos (4/4) =	12181
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1755.915
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1714.835
D(2/4) =	1870.927
D(3/4) =	1726.901
D(4/4) =	1710.995
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.002244
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	18%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	21%



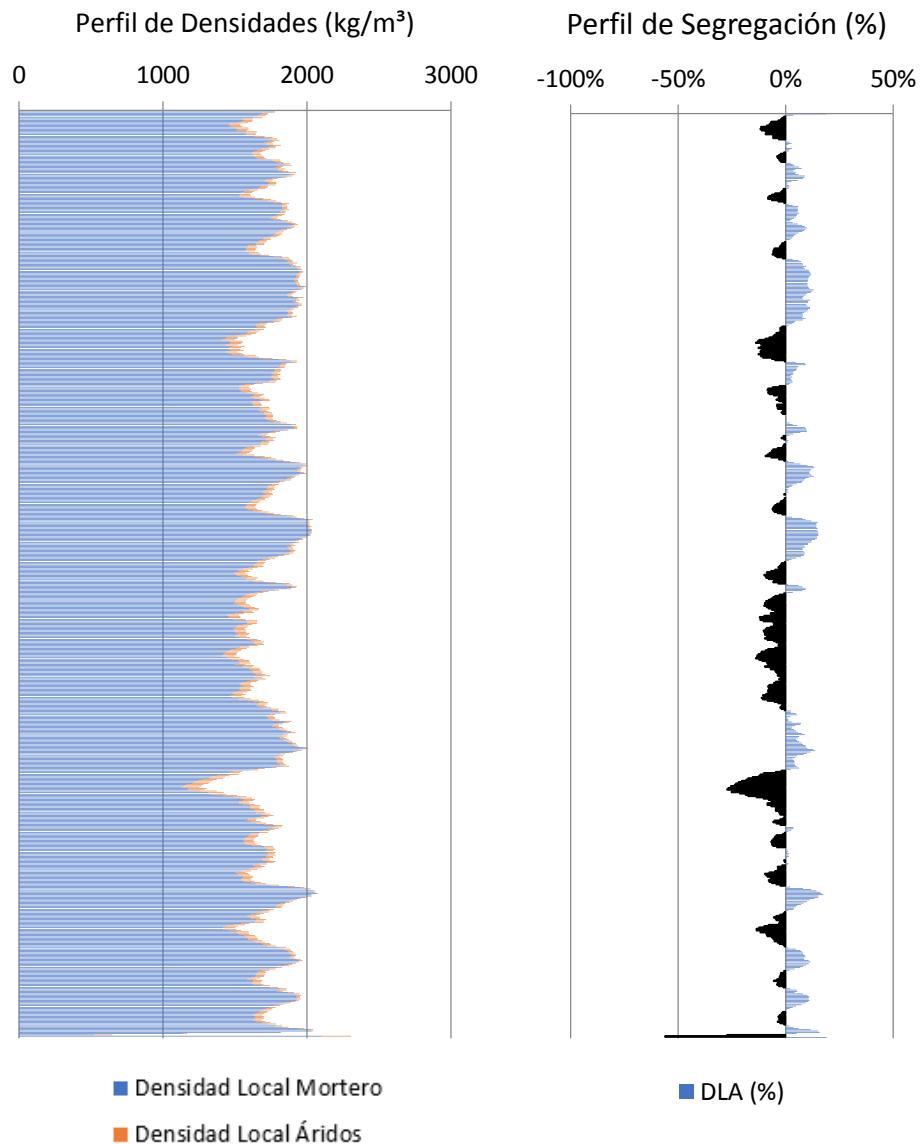
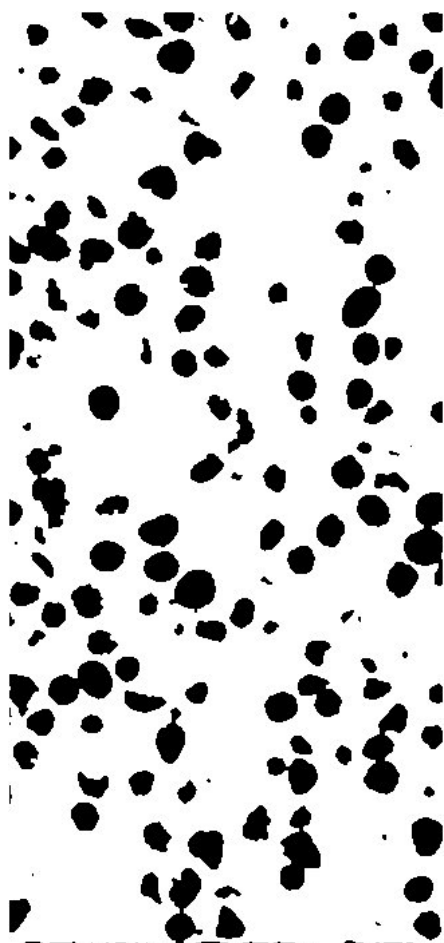
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C90V10B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	19%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	14324
Total de Ptos (2/3) =	15379
Total de Ptos (3/3) =	14084
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	11934
Total de Ptos (2/4) =	9486
Total de Ptos (3/4) =	11772
Total de Ptos (4/4) =	10555
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1751.14
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1718.965
D(2/4) =	1797.946
D(3/4) =	1724.191
D(4/4) =	1763.456
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.97477
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	2%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	19%



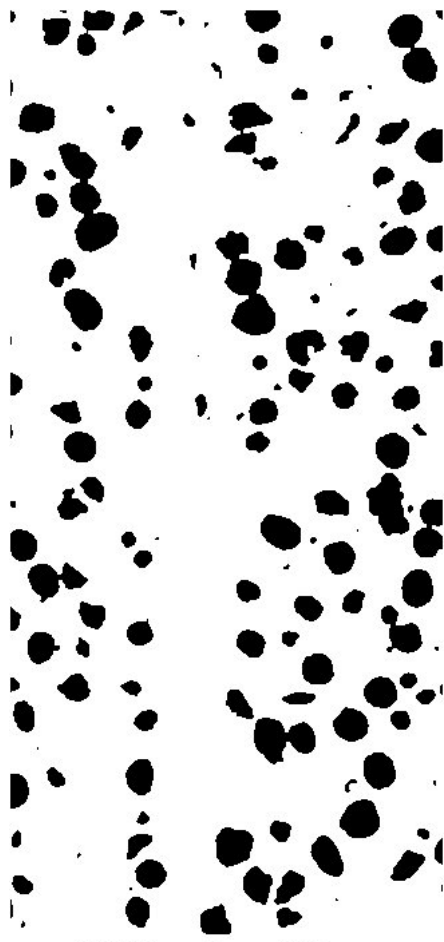
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C90V20A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	19%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	13617
Total de Ptos (2/3) =	14950
Total de Ptos (3/3) =	15045
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	9517
Total de Ptos (2/4) =	9835
Total de Ptos (3/4) =	13492
Total de Ptos (4/4) =	10708
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1752.712
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1796.946
D(2/4) =	1786.686
D(3/4) =	1668.698
D(4/4) =	1758.52
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.021851
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	10%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	21%

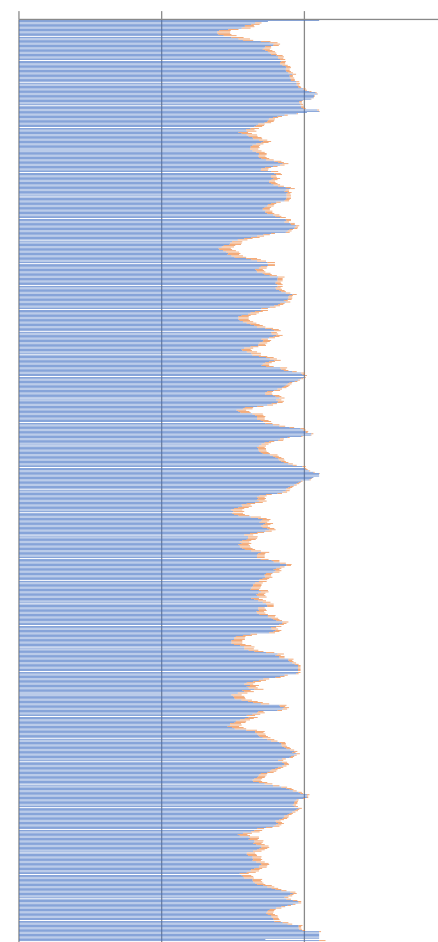


‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C90V20B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	17%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	12584
Total de Ptos (2/3) =	12742
Total de Ptos (3/3) =	12480
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	8962
Total de Ptos (2/4) =	9036
Total de Ptos (3/4) =	10843
Total de Ptos (4/4) =	8898
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1799.6
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1814.852
D(2/4) =	1812.465
D(3/4) =	1754.164
D(4/4) =	1816.917
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.998864
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	1%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	21%


Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)

0 1000 2000 3000

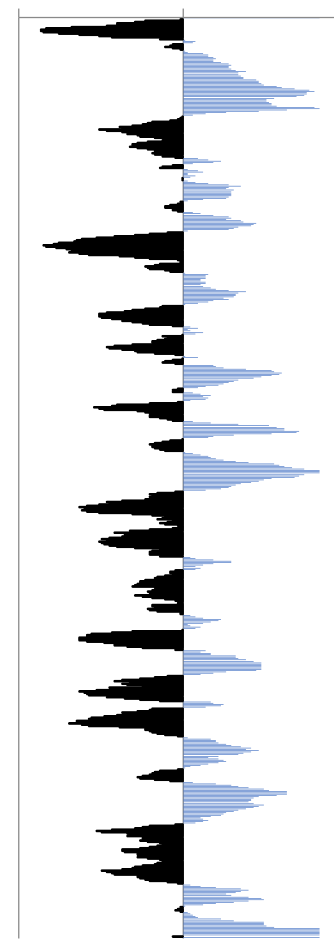


■ Densidad Local Mortero

■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)

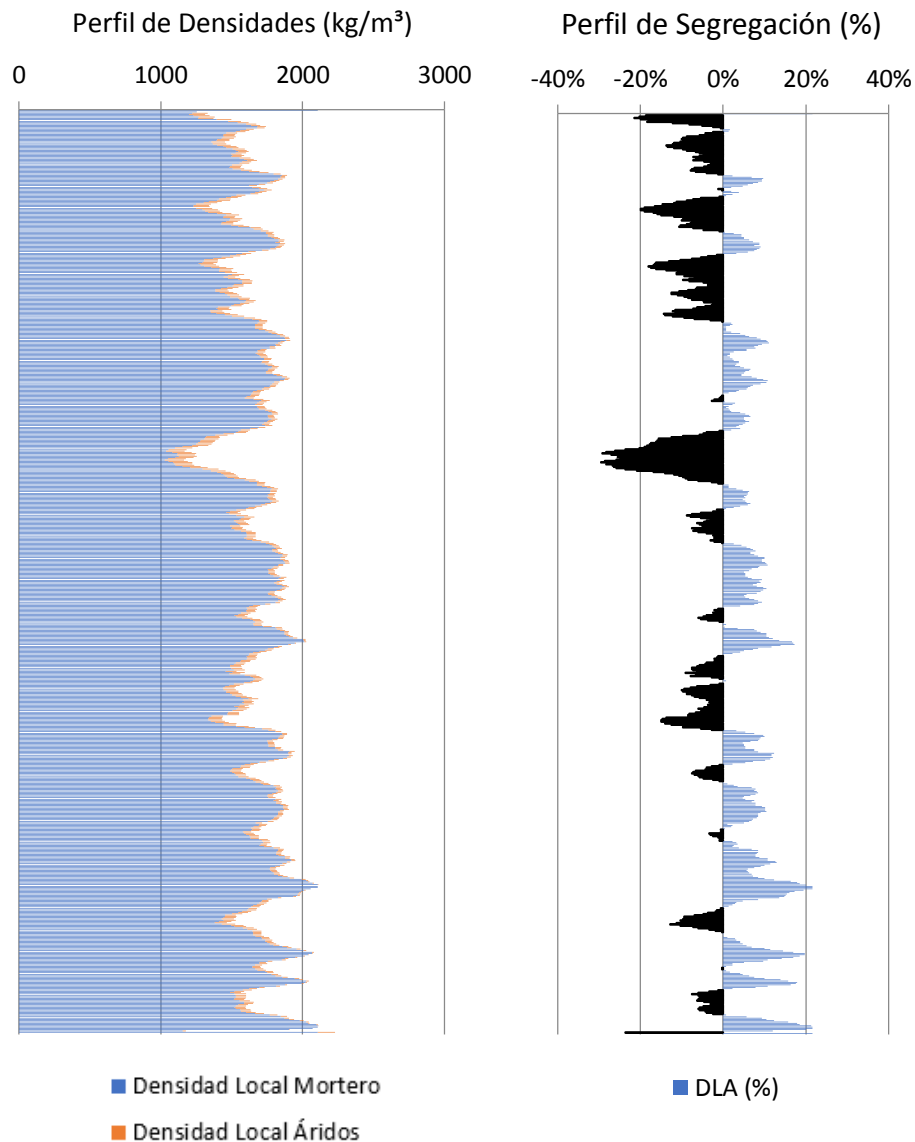
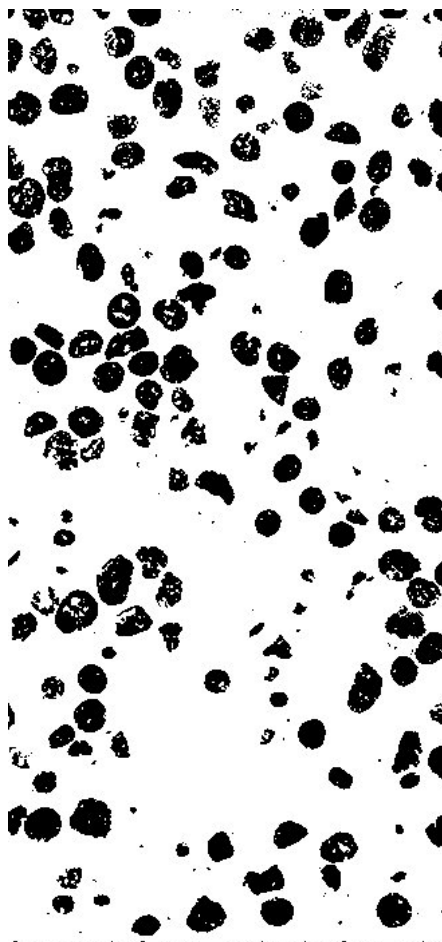
-20% 0% 20%



■ DLA (%)

‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

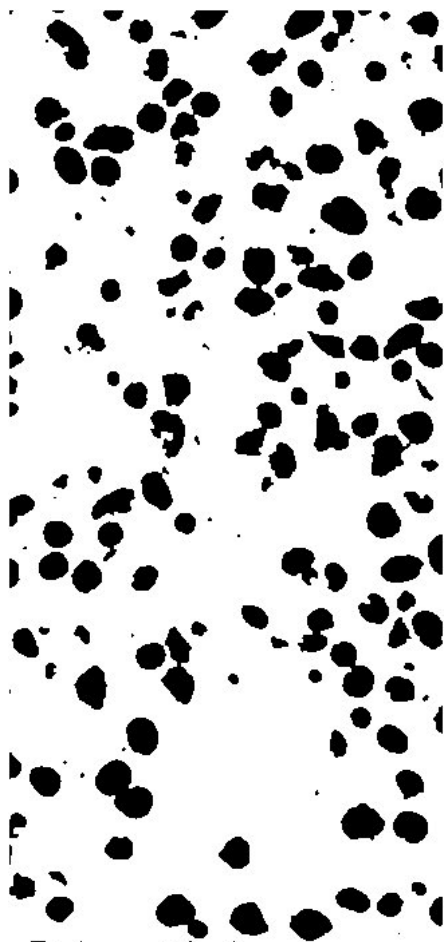
MUESTRA	
HL1900C90V40A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	22%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	18514
Total de Ptos (2/3) =	18174
Total de Ptos (3/3) =	12592
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	15161
Total de Ptos (2/4) =	13285
Total de Ptos (3/4) =	11517
Total de Ptos (4/4) =	9264
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1706.938
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1614.849
D(2/4) =	1675.376
D(3/4) =	1732.419
D(4/4) =	1805.109
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.8946
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	38%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	23%



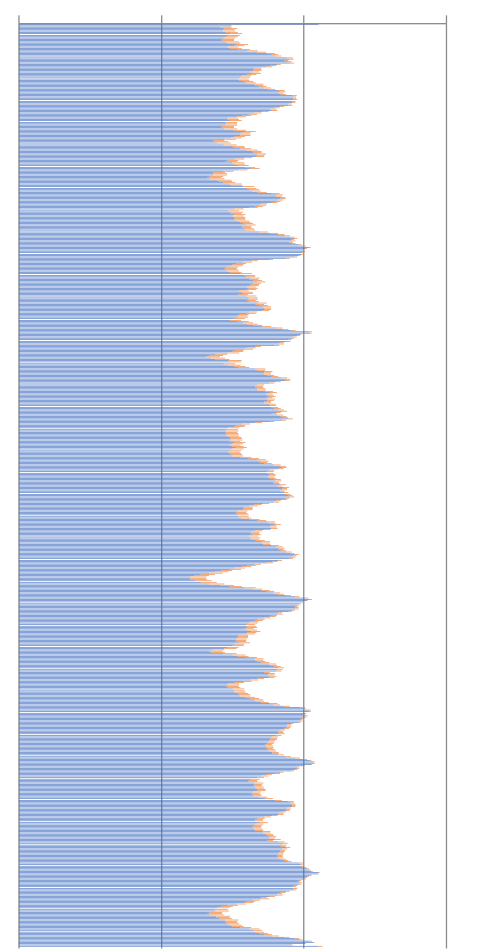
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.



MUESTRA	
HL1900C90V40B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	20%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	17034
Total de Ptos (2/3) =	15328
Total de Ptos (3/3) =	12722
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	12719
Total de Ptos (2/4) =	12124
Total de Ptos (3/4) =	11551
Total de Ptos (4/4) =	8679
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1740.444
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1693.638
D(2/4) =	1712.834
D(3/4) =	1731.322
D(4/4) =	1823.983
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.928538
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	29%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	23%

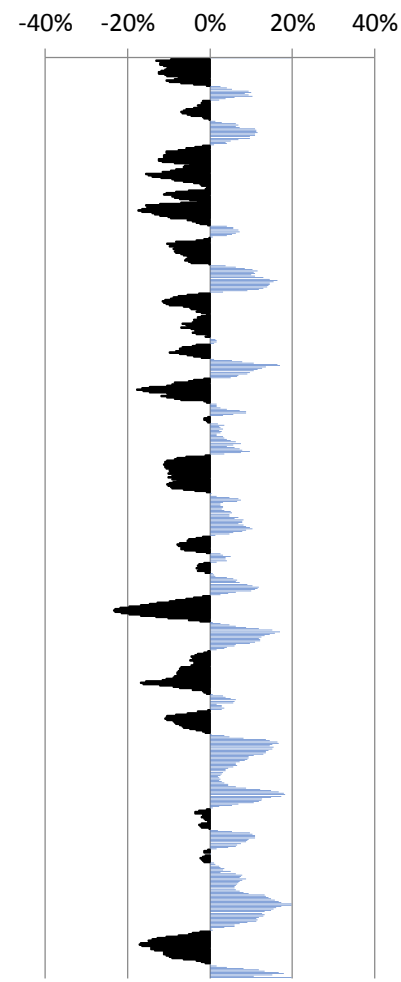


Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)



■ Densidad Local Mortero  
■ Densidad Local Áridos

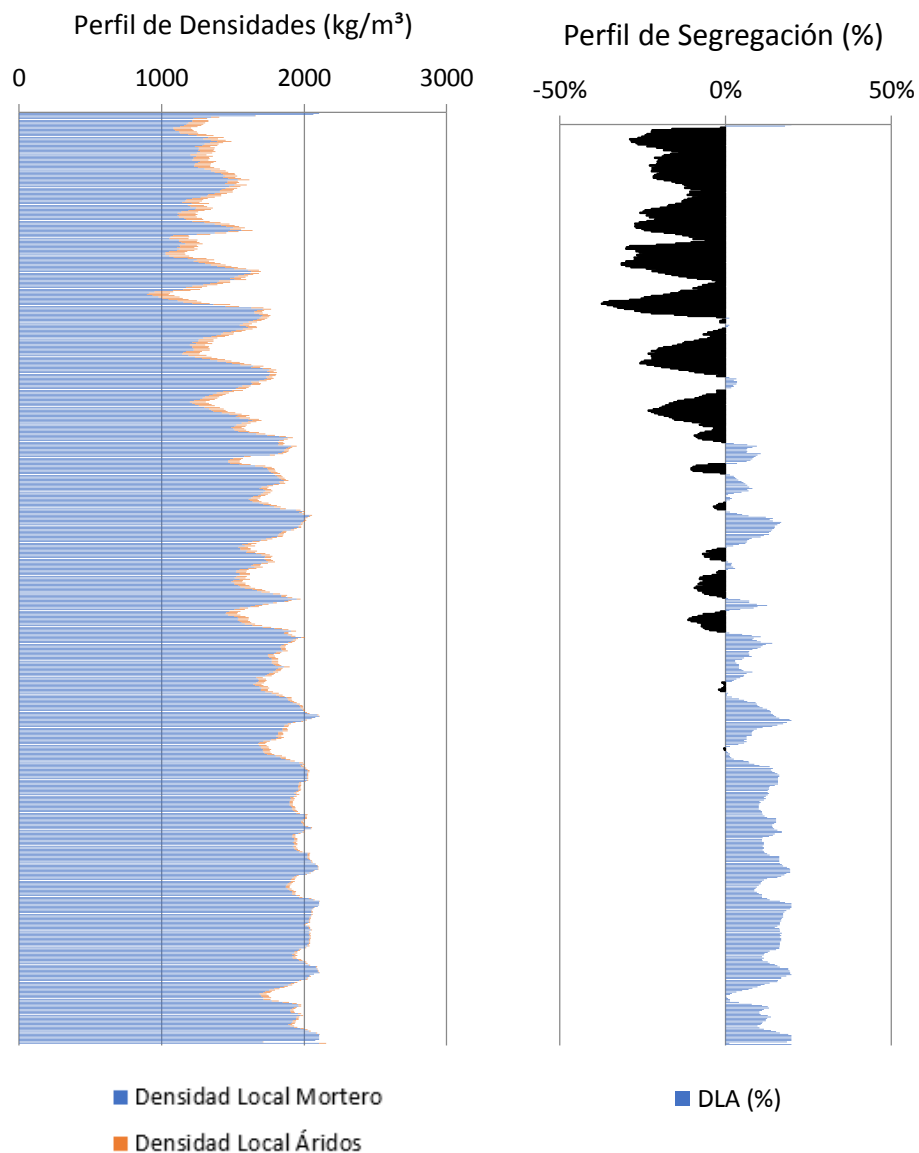
Perfil de Segregación (%)



■ DLA (%)

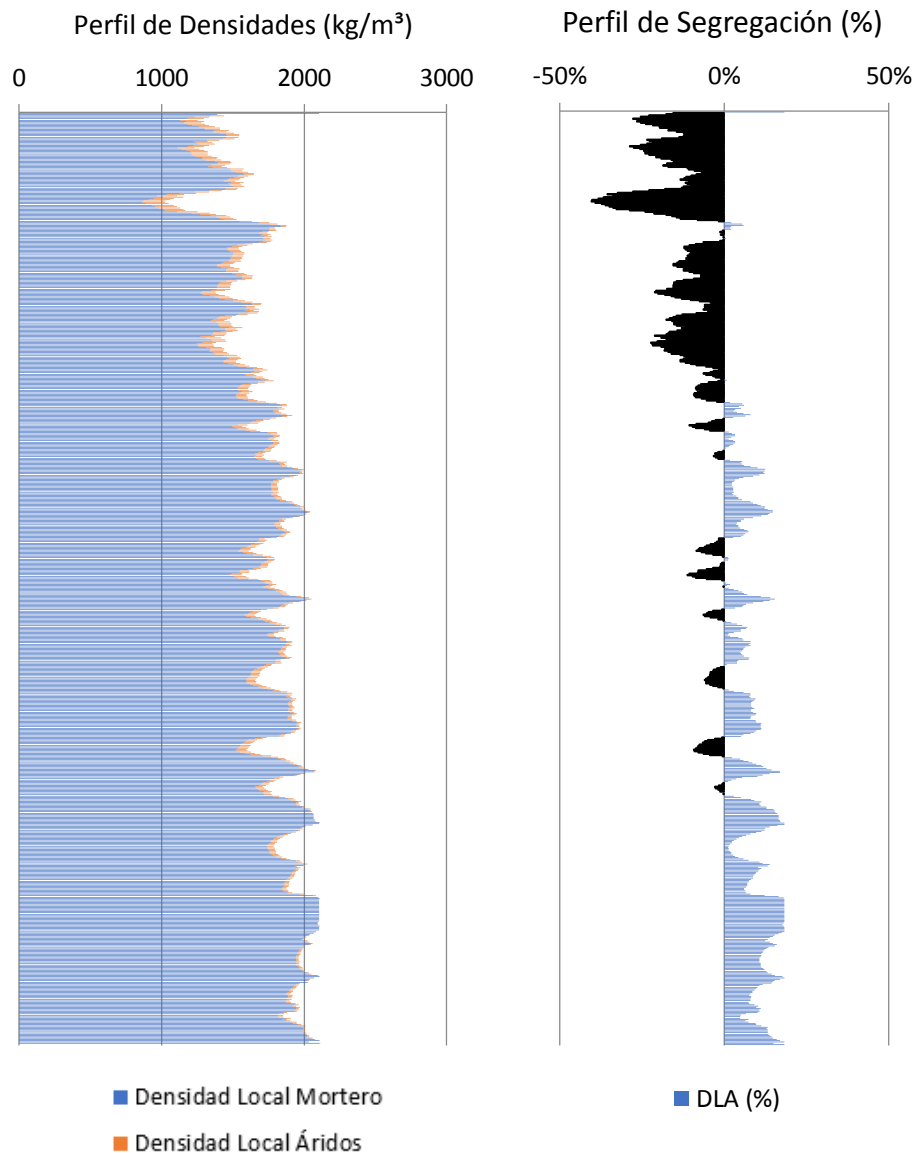
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C90V80A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	20%
CDL (%) =	12%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	27218
Total de Ptos (2/3) =	12685
Total de Ptos (3/3) =	5373
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	21290
Total de Ptos (2/4) =	12590
Total de Ptos (3/4) =	7866
Total de Ptos (4/4) =	3446
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1739.484
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1417.105
D(2/4) =	1697.8
D(3/4) =	1850.213
D(4/4) =	1992.819
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.711106
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	134%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	38%



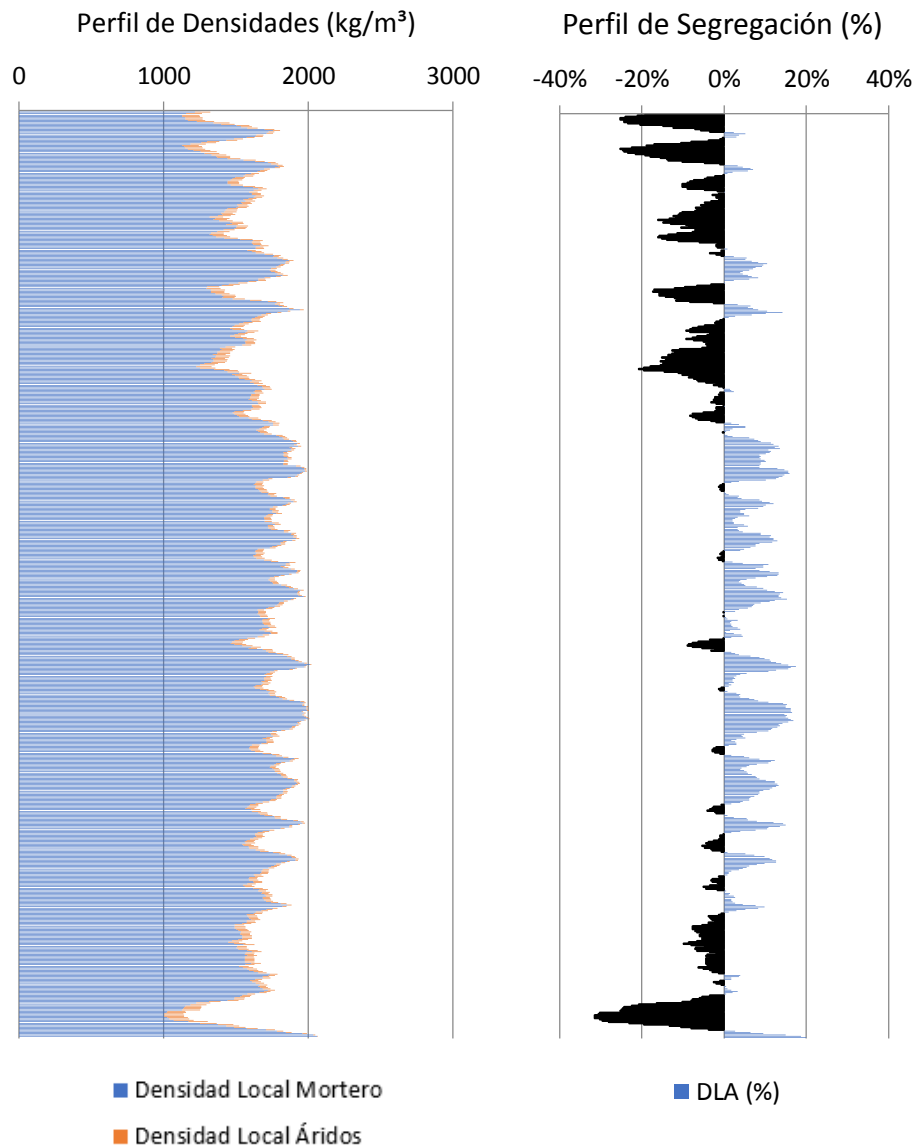
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HL1900C90V80B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2104
MUESTRA	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	18%
CDL (%) =	10%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	23727
Total de Ptos (2/3) =	11660
Total de Ptos (3/3) =	6590
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	19104
Total de Ptos (2/4) =	10775
Total de Ptos (3/4) =	8229
Total de Ptos (4/4) =	3794
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1766.021
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1487.634
D(2/4) =	1756.358
D(3/4) =	1838.502
D(4/4) =	1981.591
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.750727
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	113%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	33%



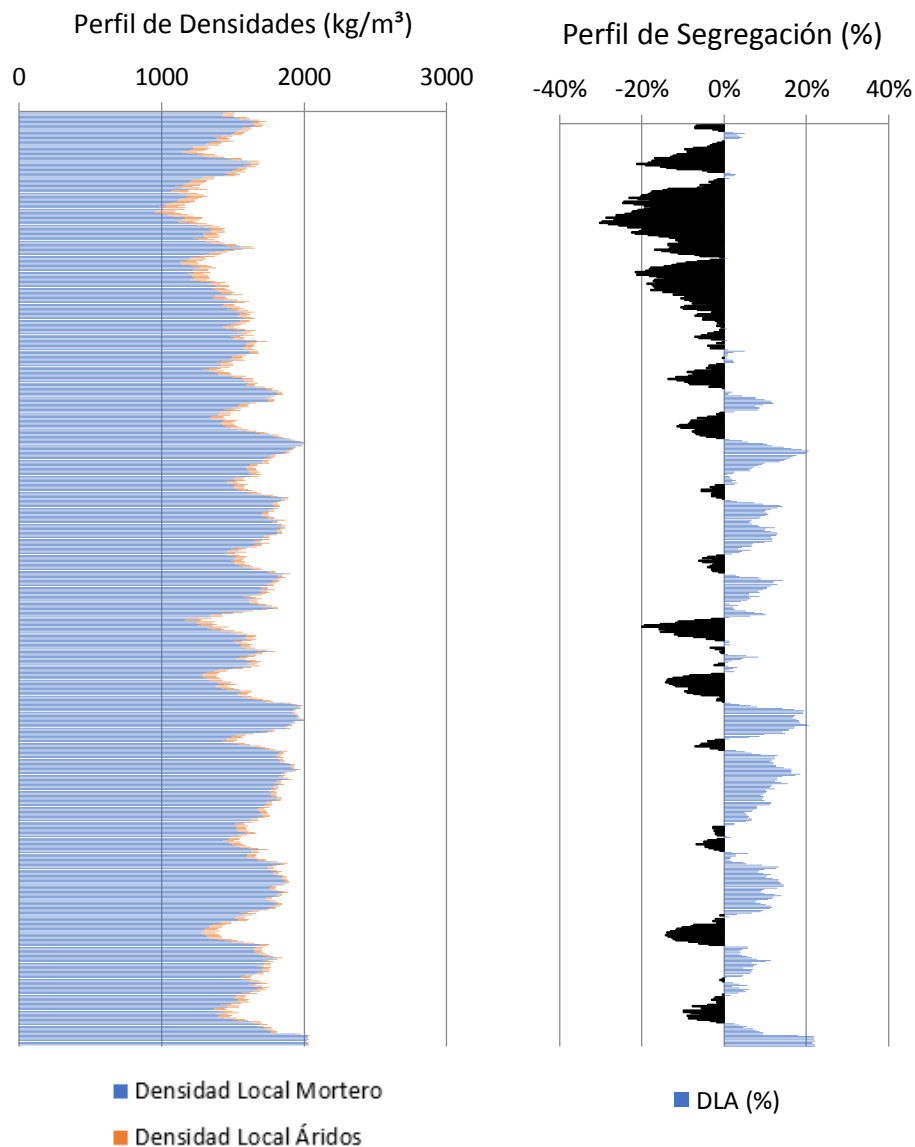
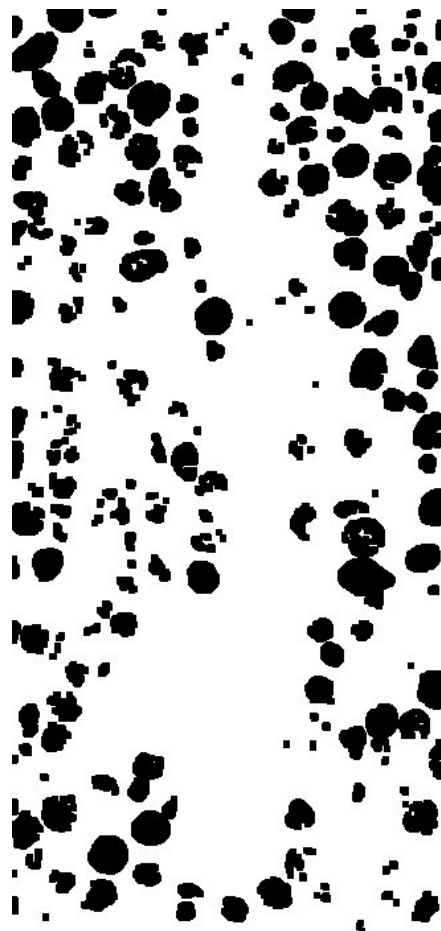
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700C15V10A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2061
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	20%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	19814
Total de Ptos (2/3) =	10185
Total de Ptos (3/3) =	15488
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	14633
Total de Ptos (2/4) =	10218
Total de Ptos (3/4) =	7754
Total de Ptos (4/4) =	12811
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1703.262
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1599.948
D(2/4) =	1739.054
D(3/4) =	1816.689
D(4/4) =	1657.355
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.965362
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	25%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	23%



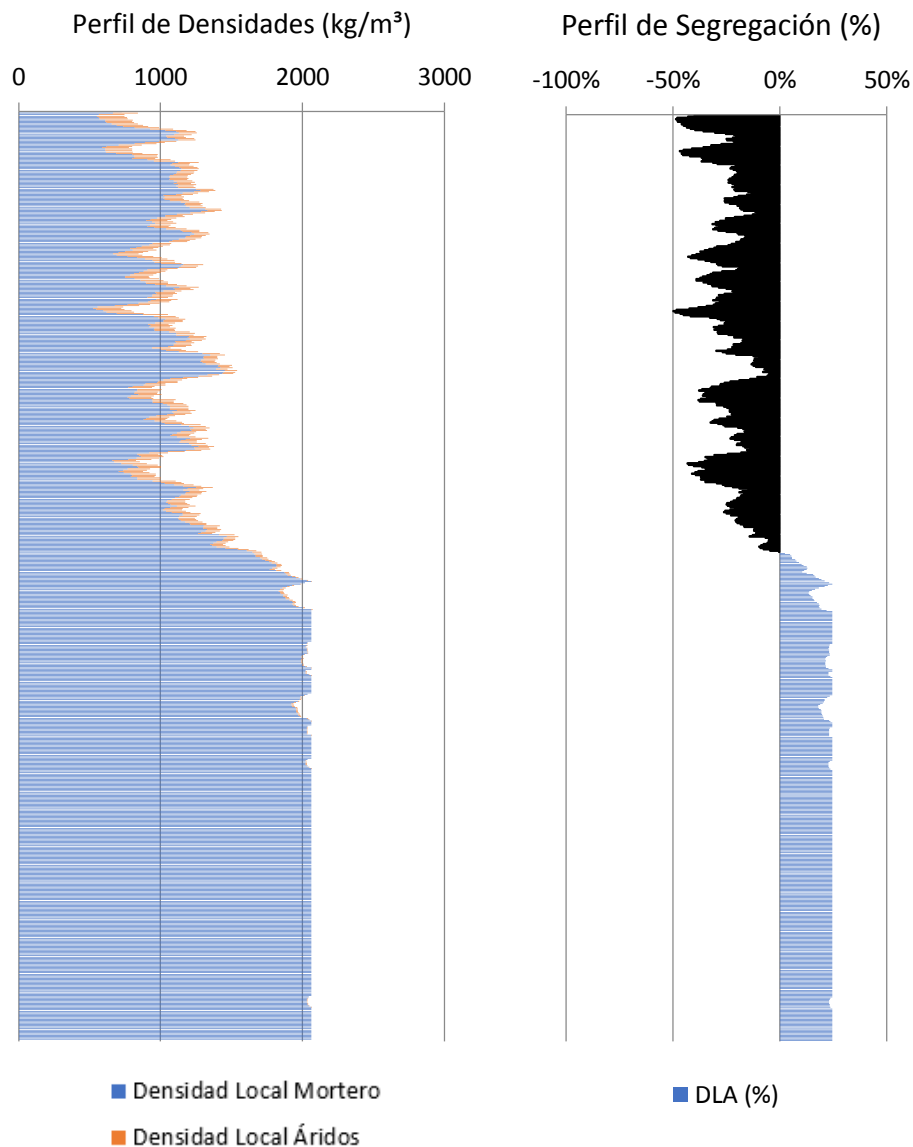
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700C15V10B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2061
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	24%
CDL (%) =	9%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	24403
Total de Ptos (2/3) =	15237
Total de Ptos (3/3) =	14413
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	19529
Total de Ptos (2/4) =	11671
Total de Ptos (3/4) =	11120
Total de Ptos (4/4) =	11631
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1636.032
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1445.686
D(2/4) =	1693.274
D(3/4) =	1710.634
D(4/4) =	1694.534
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.853147
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	51%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	24%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

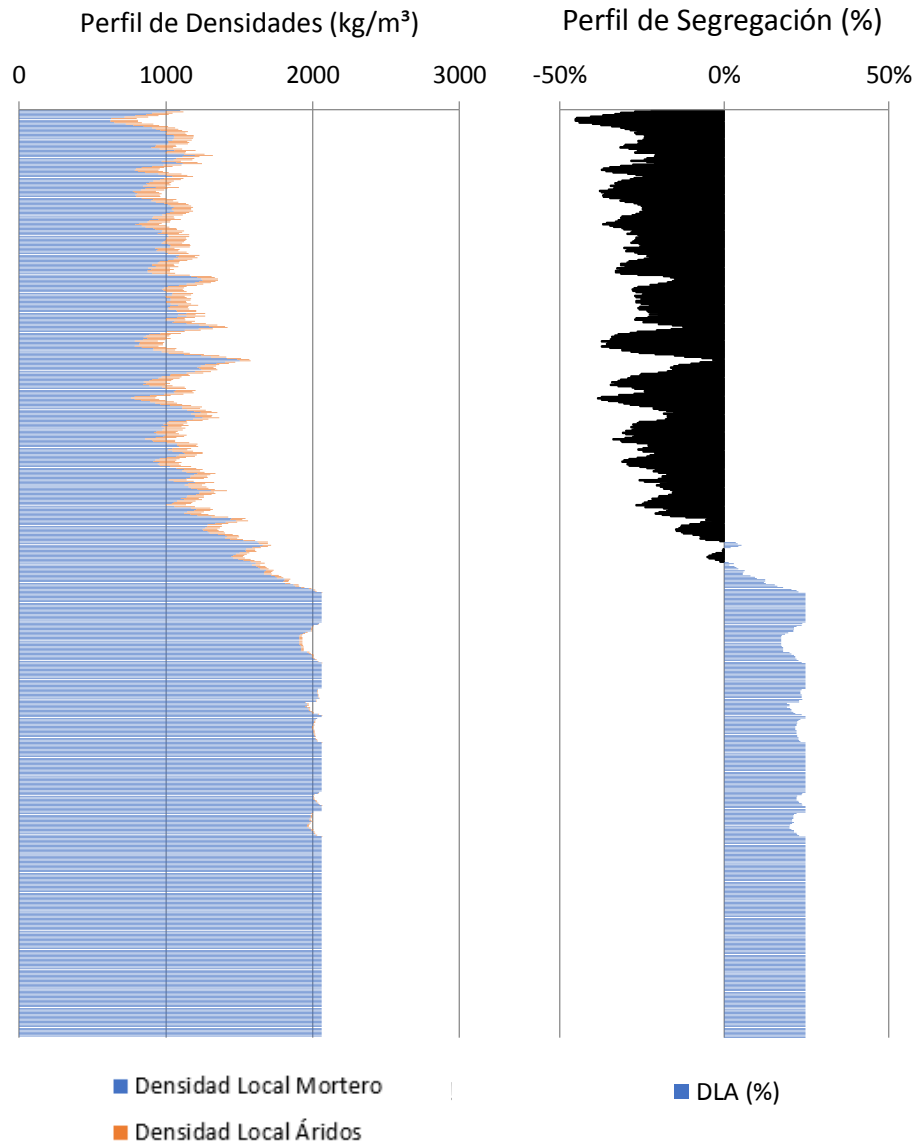
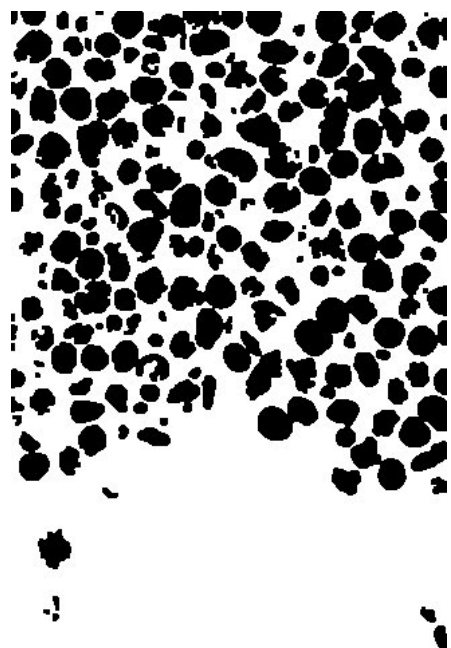
MUESTRA	
HLM1700C15V160A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2061
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	25%
CDL (%) =	24%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	39632
Total de Ptos (2/3) =	16699
Total de Ptos (3/3) =	84
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	30508
Total de Ptos (2/4) =	24640
Total de Ptos (3/4) =	1060
Total de Ptos (4/4) =	33
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1617.994
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1099.763
D(2/4) =	1284.65
D(3/4) =	2027.602
D(4/4) =	2059.96
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.533876
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	199%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	65%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

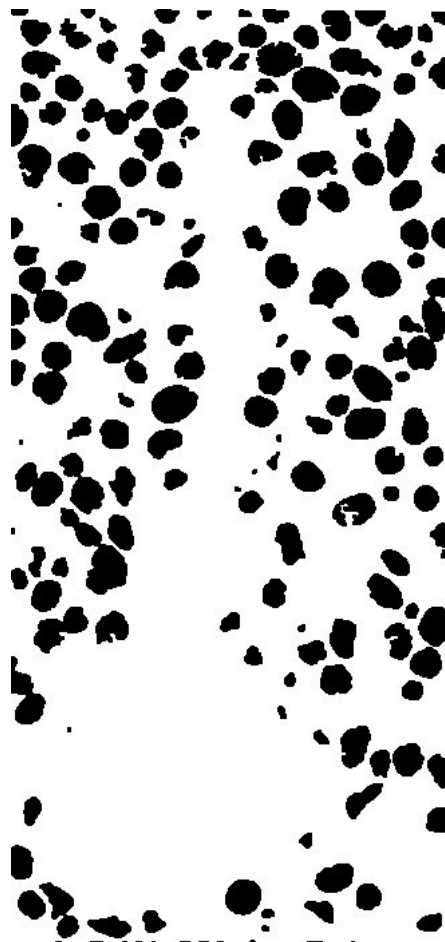


MUESTRA	
HLM1700C15V160B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2061
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	25%
CDL (%) =	23%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	39359
Total de Ptos (2/3) =	16652
Total de Ptos (3/3) =	352
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	30007
Total de Ptos (2/4) =	24651
Total de Ptos (3/4) =	1355
Total de Ptos (4/4) =	212
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1618.12
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1115.549
D(2/4) =	1284.304
D(3/4) =	2018.307
D(4/4) =	2054.32
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.543026
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	196%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	63%



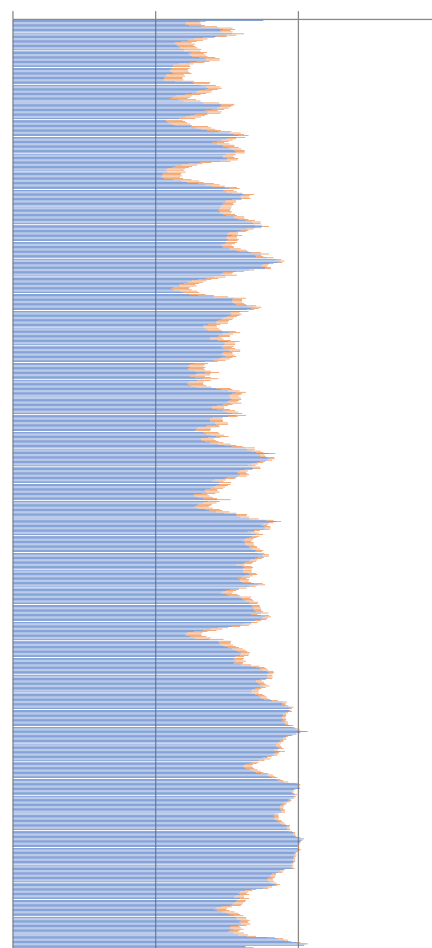
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700C15V20A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2061
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	24%
CDL (%) =	10%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	24733
Total de Ptos (2/3) =	20219
Total de Ptos (3/3) =	9977
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	19446
Total de Ptos (2/4) =	16288
Total de Ptos (3/4) =	12346
Total de Ptos (4/4) =	6740
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1629.187
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1448.301
D(2/4) =	1547.803
D(3/4) =	1672.006
D(4/4) =	1848.638
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.783442
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	85%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	26%



Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)

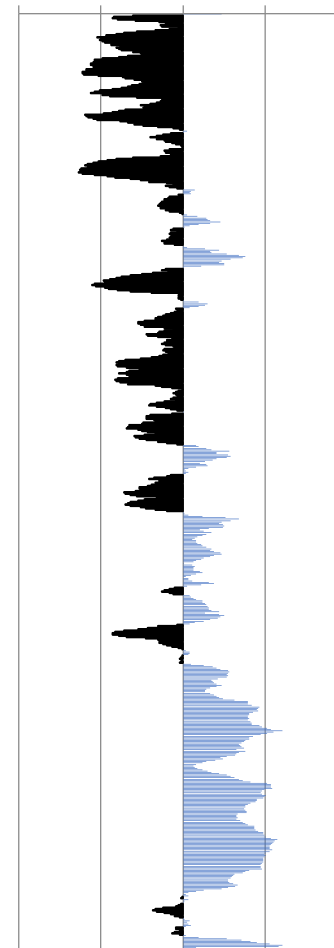
0 1000 2000 3000



■ Densidad Local Mortero  
■ Densidad Local Áridos

Perfil de Segregación (%)

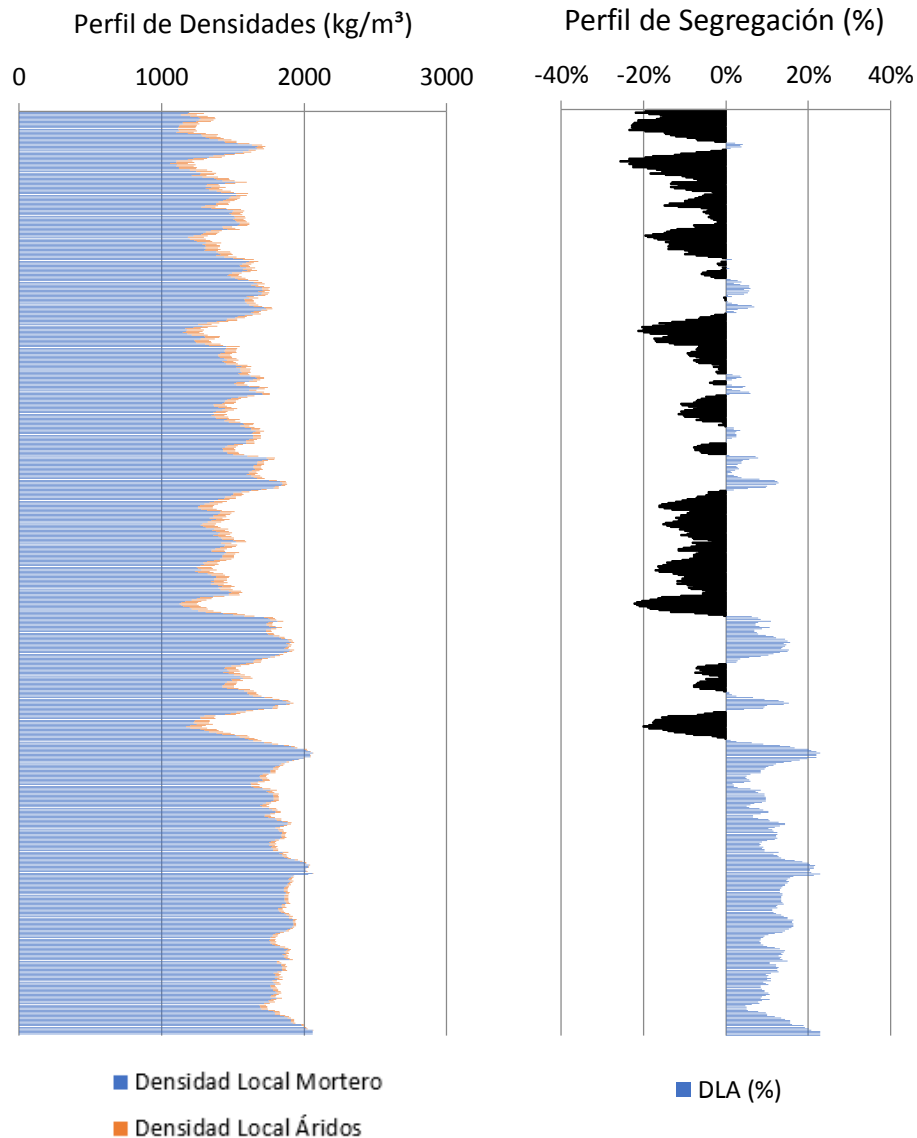
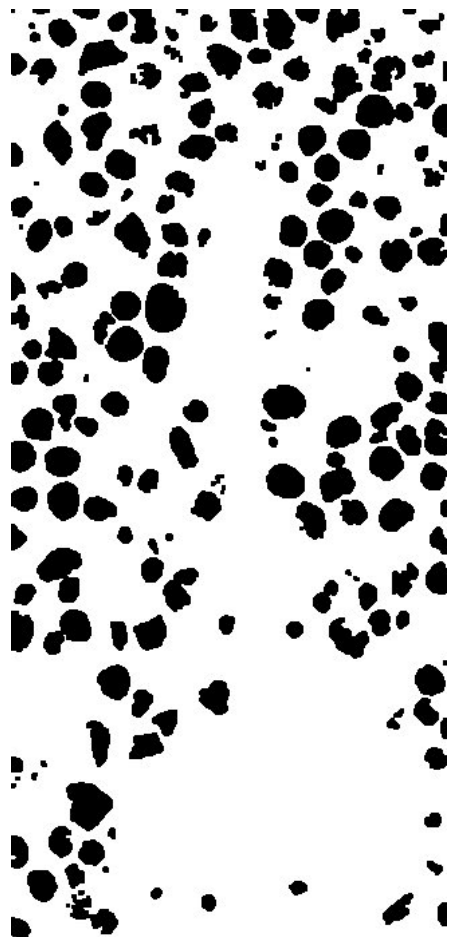
-40% -20% 0% 20% 40%



■ DLA (%)

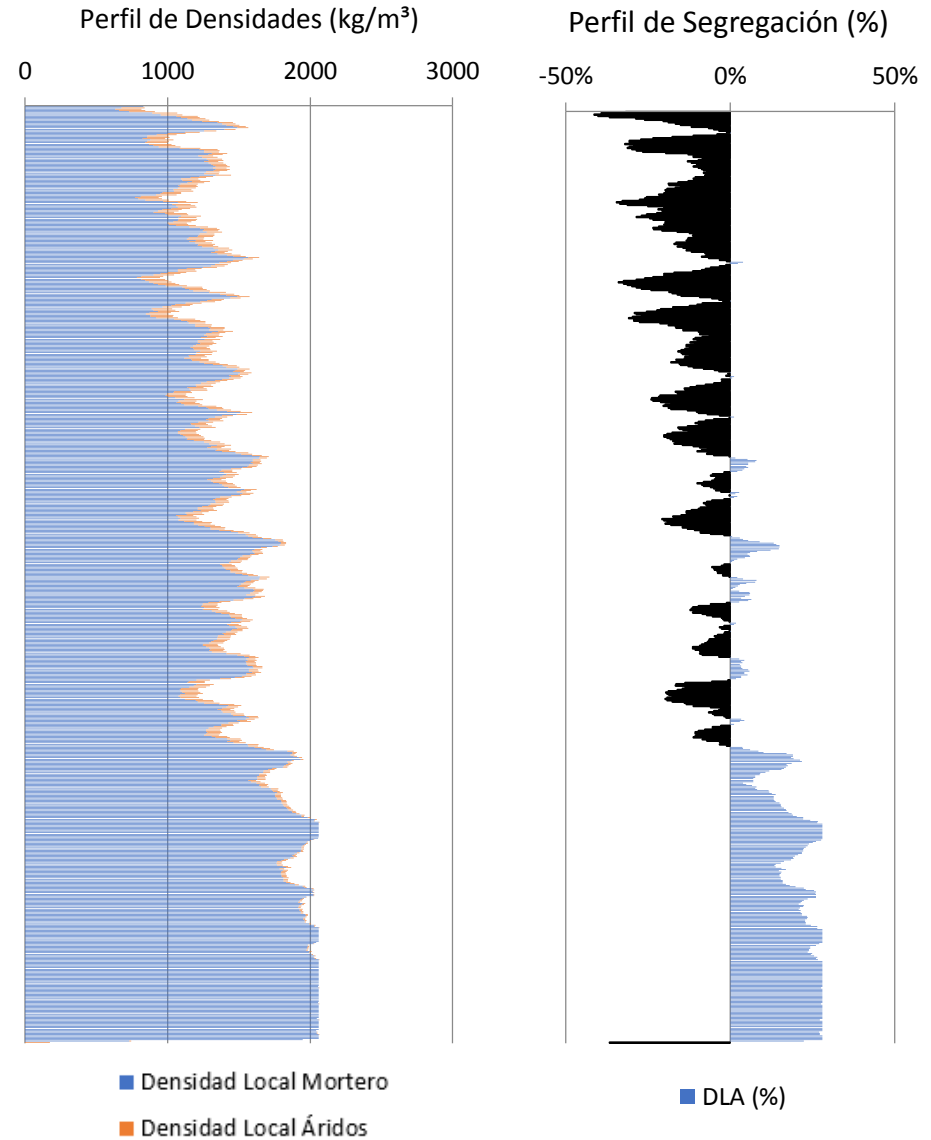
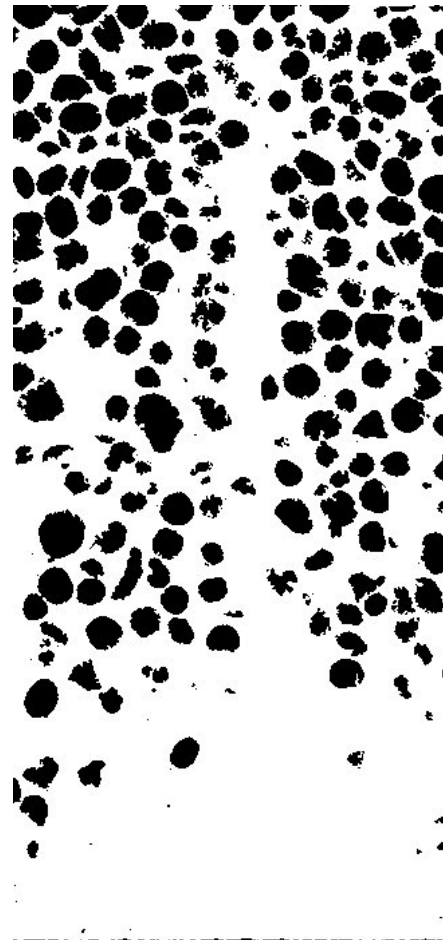
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700C15V20B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2061
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	23%
CDL (%) =	10%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	23437
Total de Ptos (2/3) =	19985
Total de Ptos (3/3) =	8816
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	18119
Total de Ptos (2/4) =	15784
Total de Ptos (3/4) =	12355
Total de Ptos (4/4) =	5885
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1650.274
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1490.112
D(2/4) =	1563.683
D(3/4) =	1671.722
D(4/4) =	1875.577
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.794482
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	91%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	28%



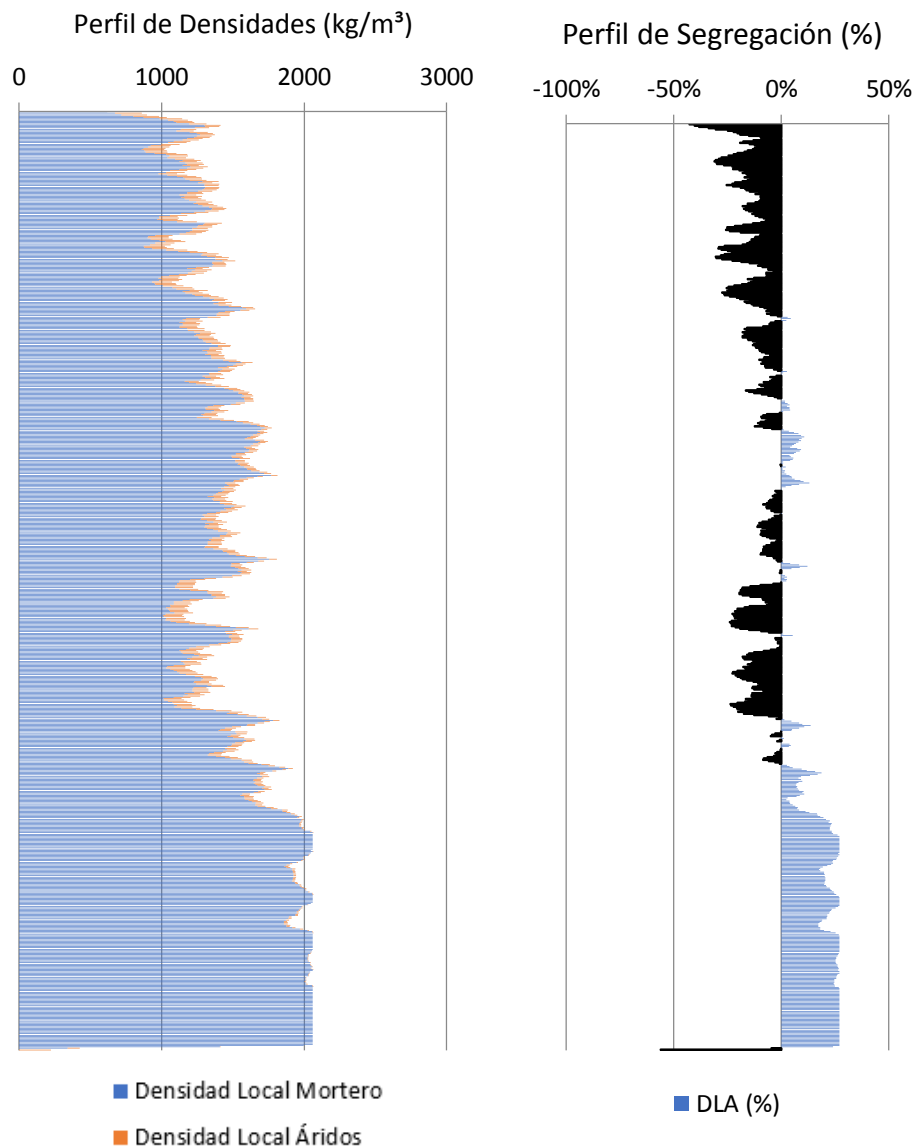
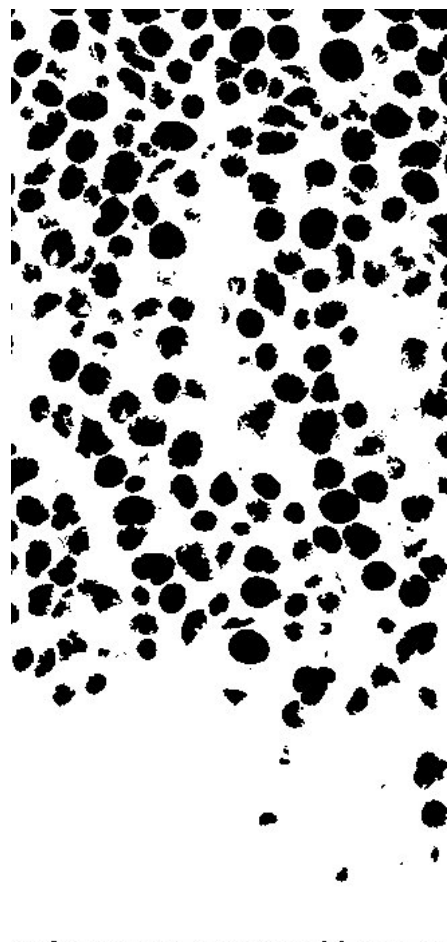
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700C15V40A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2061
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	28%
CDL (%) =	15%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	33408
Total de Ptos (2/3) =	24694
Total de Ptos (3/3) =	5662
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	25826
Total de Ptos (2/4) =	19990
Total de Ptos (3/4) =	15706
Total de Ptos (4/4) =	2120
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1559.697
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1247.282
D(2/4) =	1431.161
D(3/4) =	1566.14
D(4/4) =	1994.204
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.625454
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	142%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	37%



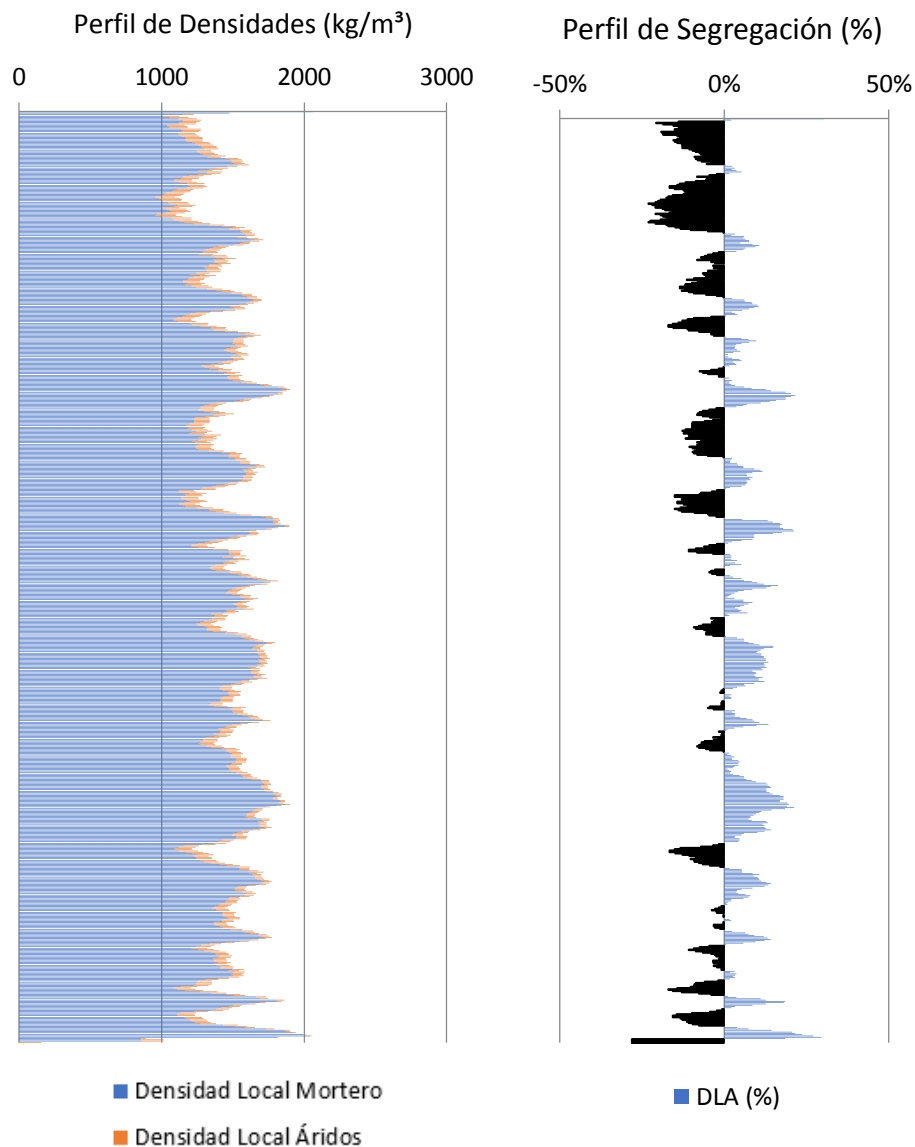
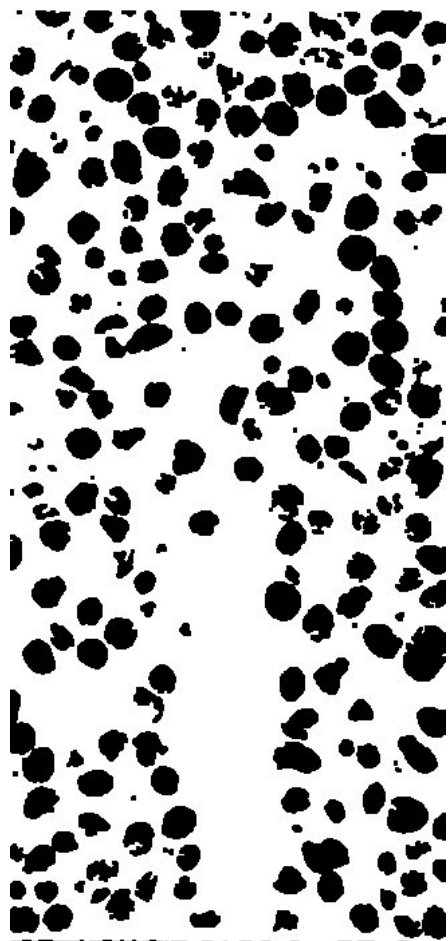
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700C15V40B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2061
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	27%
CDL (%) =	15%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	30955
Total de Ptos (2/3) =	25240
Total de Ptos (3/3) =	5574
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	24815
Total de Ptos (2/4) =	16598
Total de Ptos (3/4) =	18683
Total de Ptos (4/4) =	1604
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1574.994
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1279.137
D(2/4) =	1538.035
D(3/4) =	1472.342
D(4/4) =	2010.462
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.63624
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	139%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	37%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

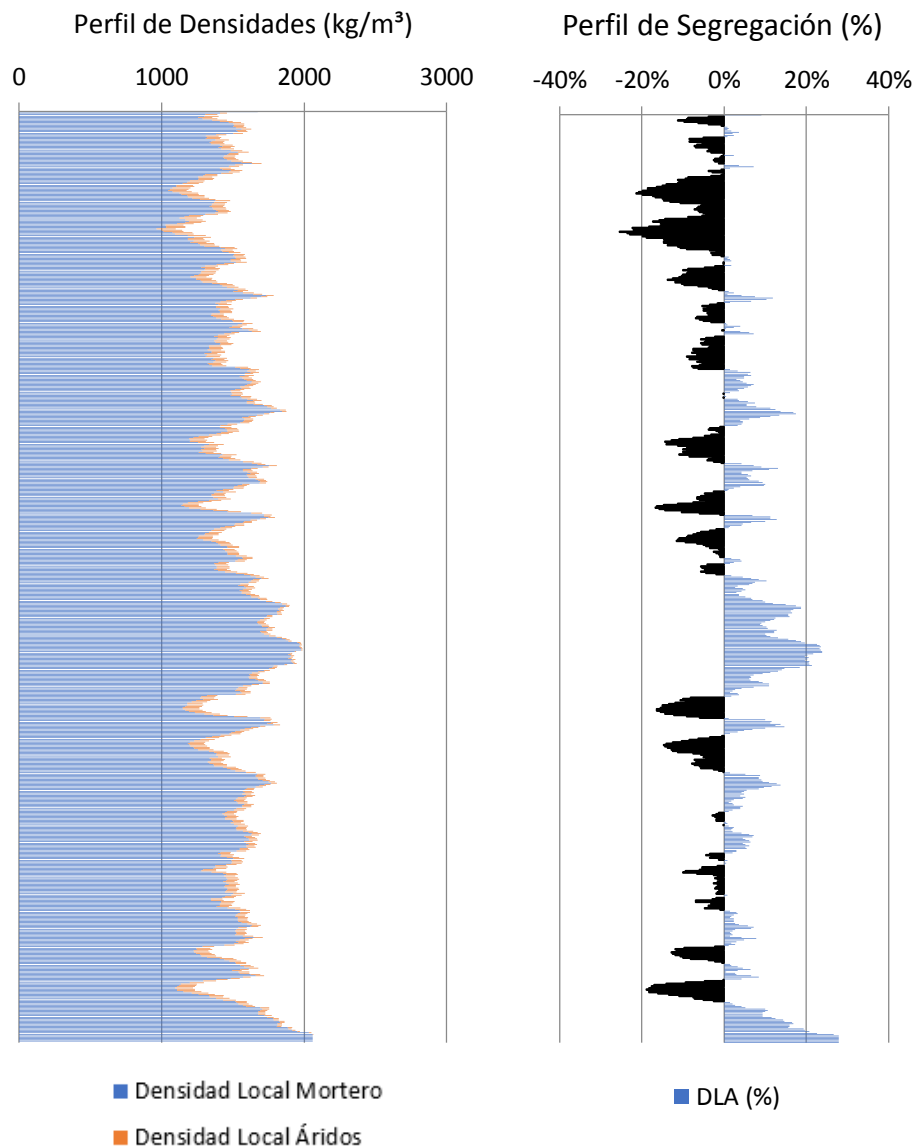
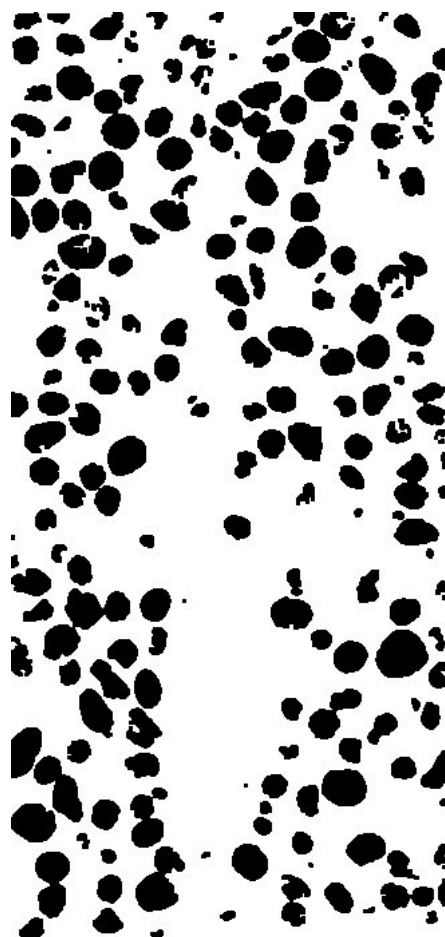
MUESTRA	
HLM1700C15V5A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2061
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	30%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	26595
Total de Ptos (2/3) =	21598
Total de Ptos (3/3) =	21252
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	21219
Total de Ptos (2/4) =	17102
Total de Ptos (3/4) =	14265
Total de Ptos (4/4) =	16728
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1515.019
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1392.438
D(2/4) =	1522.155
D(3/4) =	1611.543
D(4/4) =	1533.939
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.907753
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	22%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	19%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

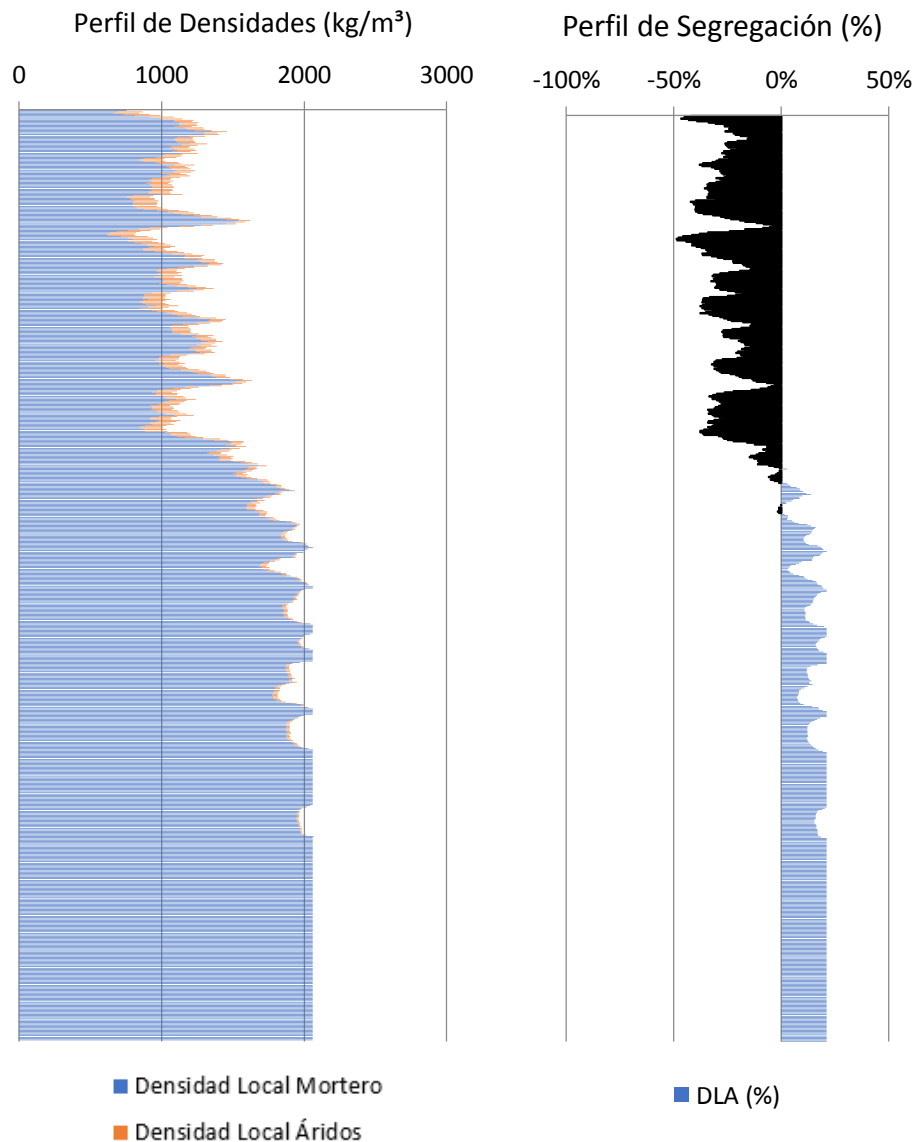
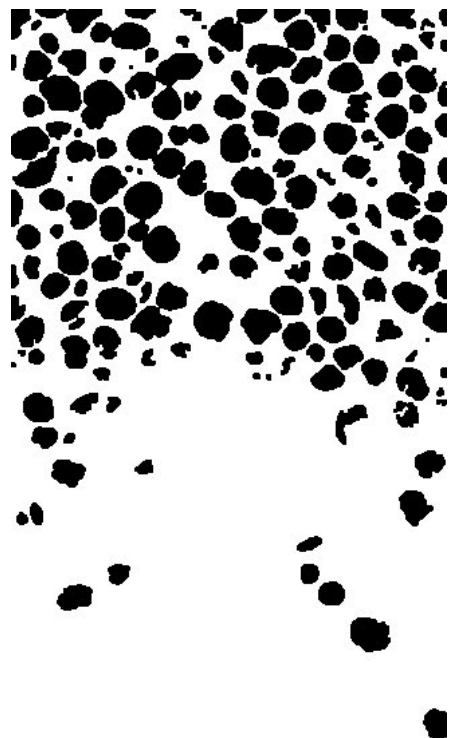


MUESTRA	
HLM1700C15V5B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2061
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	28%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	24269
Total de Ptos (2/3) =	18846
Total de Ptos (3/3) =	20383
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	19352
Total de Ptos (2/4) =	16285
Total de Ptos (3/4) =	12780
Total de Ptos (4/4) =	15004
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1561.438
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1451.263
D(2/4) =	1547.897
D(3/4) =	1658.332
D(4/4) =	1588.259
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.913745
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	17%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	19%



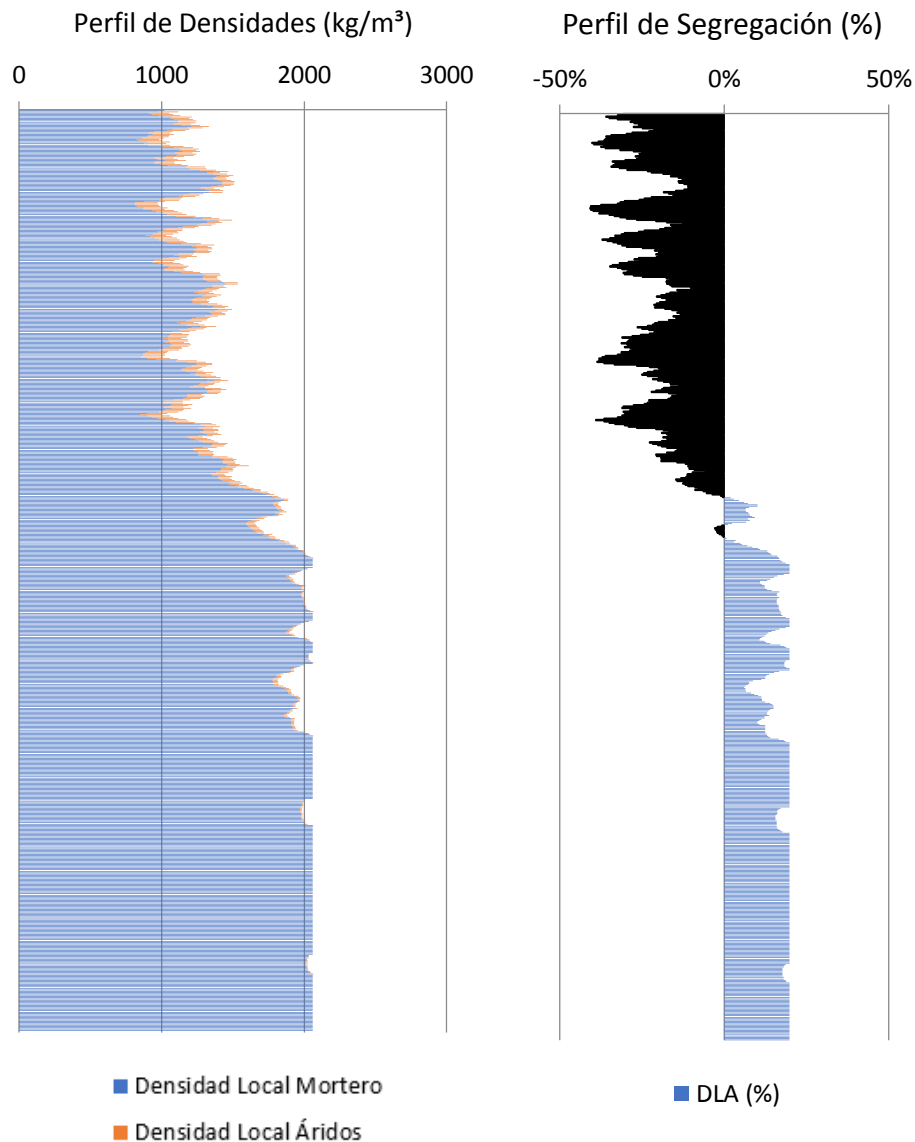
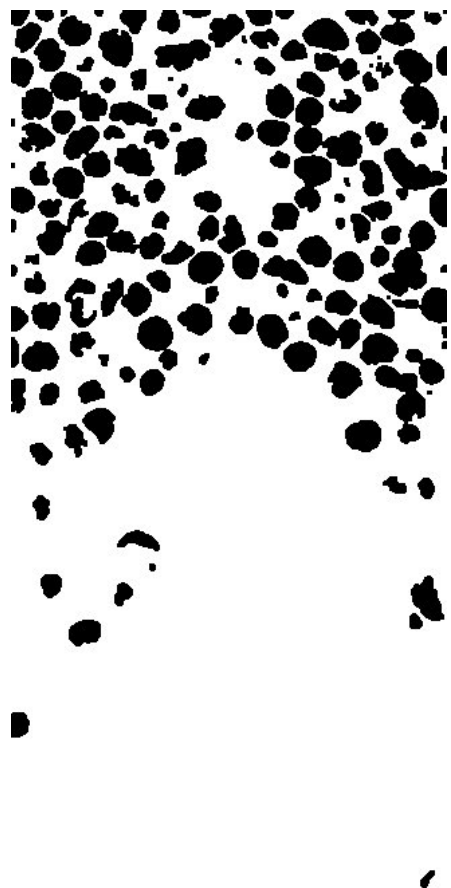
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700C15V80A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2061
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	21%
CDL (%) =	20%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	37268
Total de Ptos (2/3) =	10389
Total de Ptos (3/3) =	661
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	28479
Total de Ptos (2/4) =	16726
Total de Ptos (3/4) =	2619
Total de Ptos (4/4) =	324
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1681.742
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1163.692
D(2/4) =	1534.002
D(3/4) =	1978.481
D(4/4) =	2050.792
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.567436
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	193%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	61%



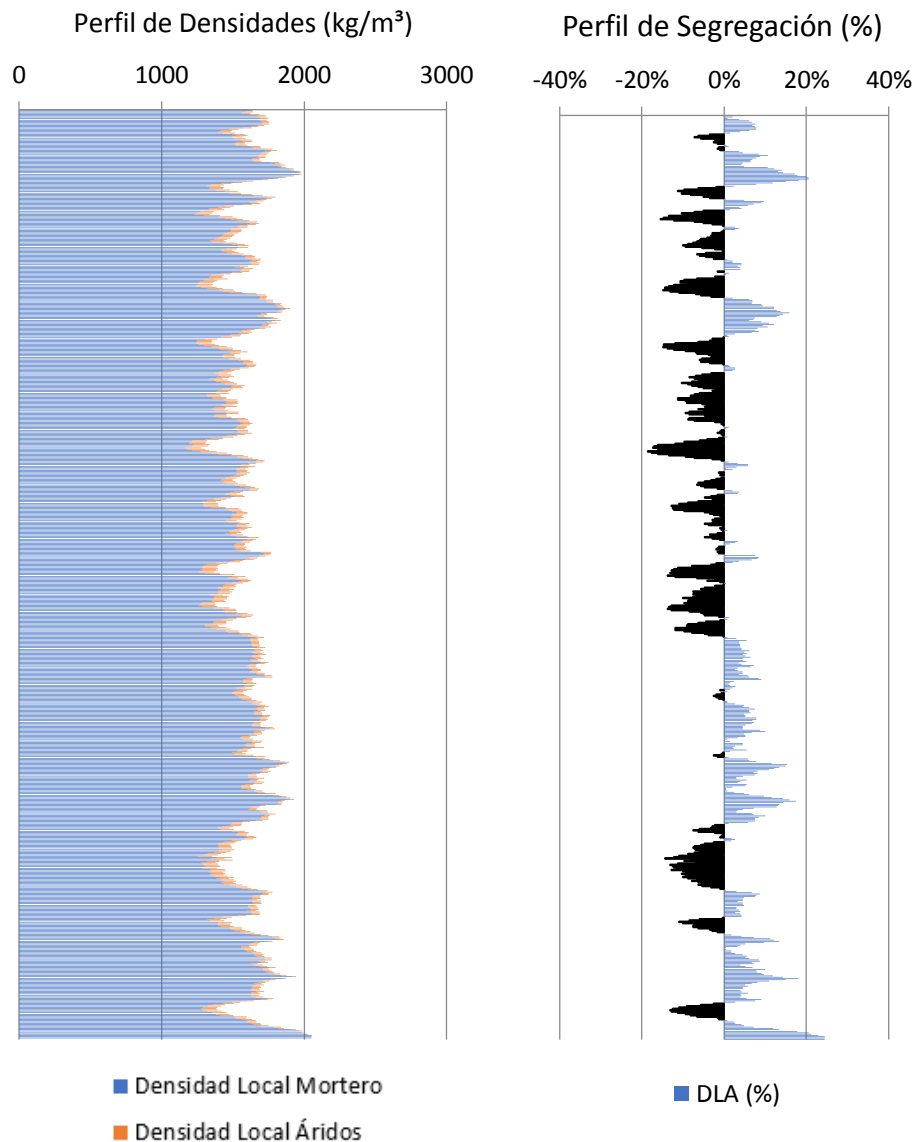
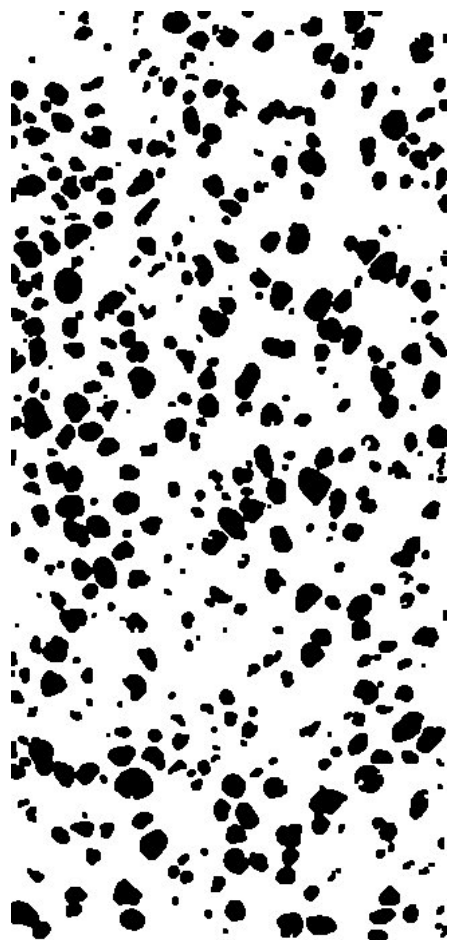
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLM1700C15V80B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	269
Matriz de Mortero	2061
MUESTRA	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	20%
CDL (%) =	19%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	34307
Total de Ptos (2/3) =	10719
Total de Ptos (3/3) =	442
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	25485
Total de Ptos (2/4) =	17318
Total de Ptos (3/4) =	2184
Total de Ptos (4/4) =	303
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1704.254
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1258.026
D(2/4) =	1515.35
D(3/4) =	1992.187
D(4/4) =	2051.453
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.613237
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	195%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	60%



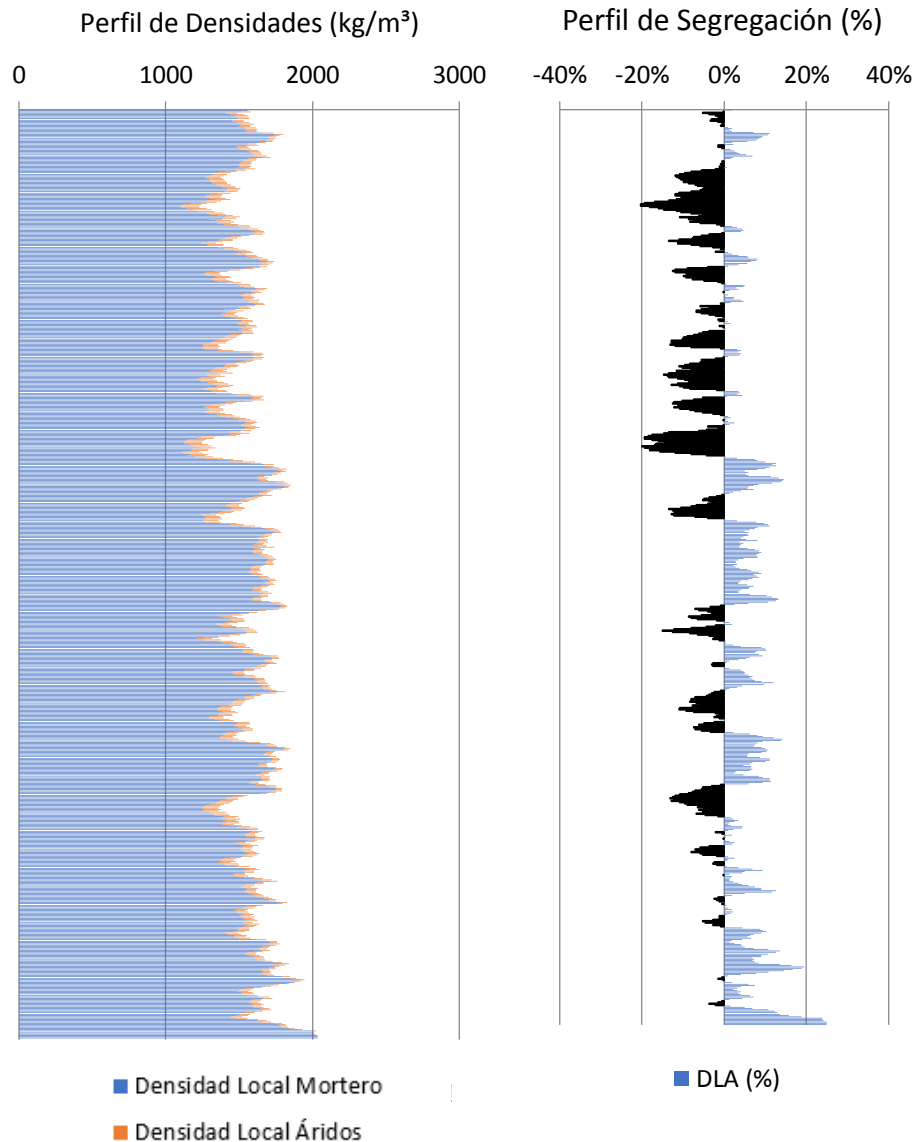
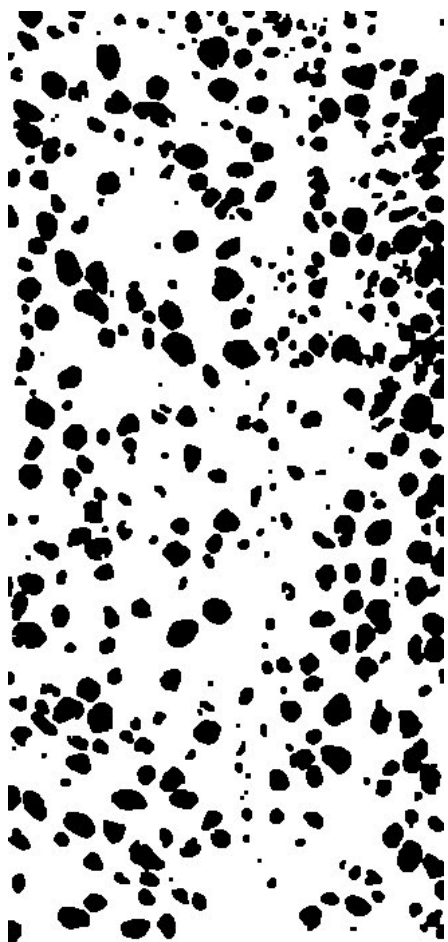
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLLTM1700C15V10A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	276
Matriz de Mortero	2050
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	24%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	19090
Total de Ptos (2/3) =	20032
Total de Ptos (3/3) =	16692
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	13300
Total de Ptos (2/4) =	16449
Total de Ptos (3/4) =	12753
Total de Ptos (4/4) =	13230
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1615.413
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1635.157
D(2/4) =	1536.936
D(3/4) =	1652.219
D(4/4) =	1637.34
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.998667
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	13%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	17%



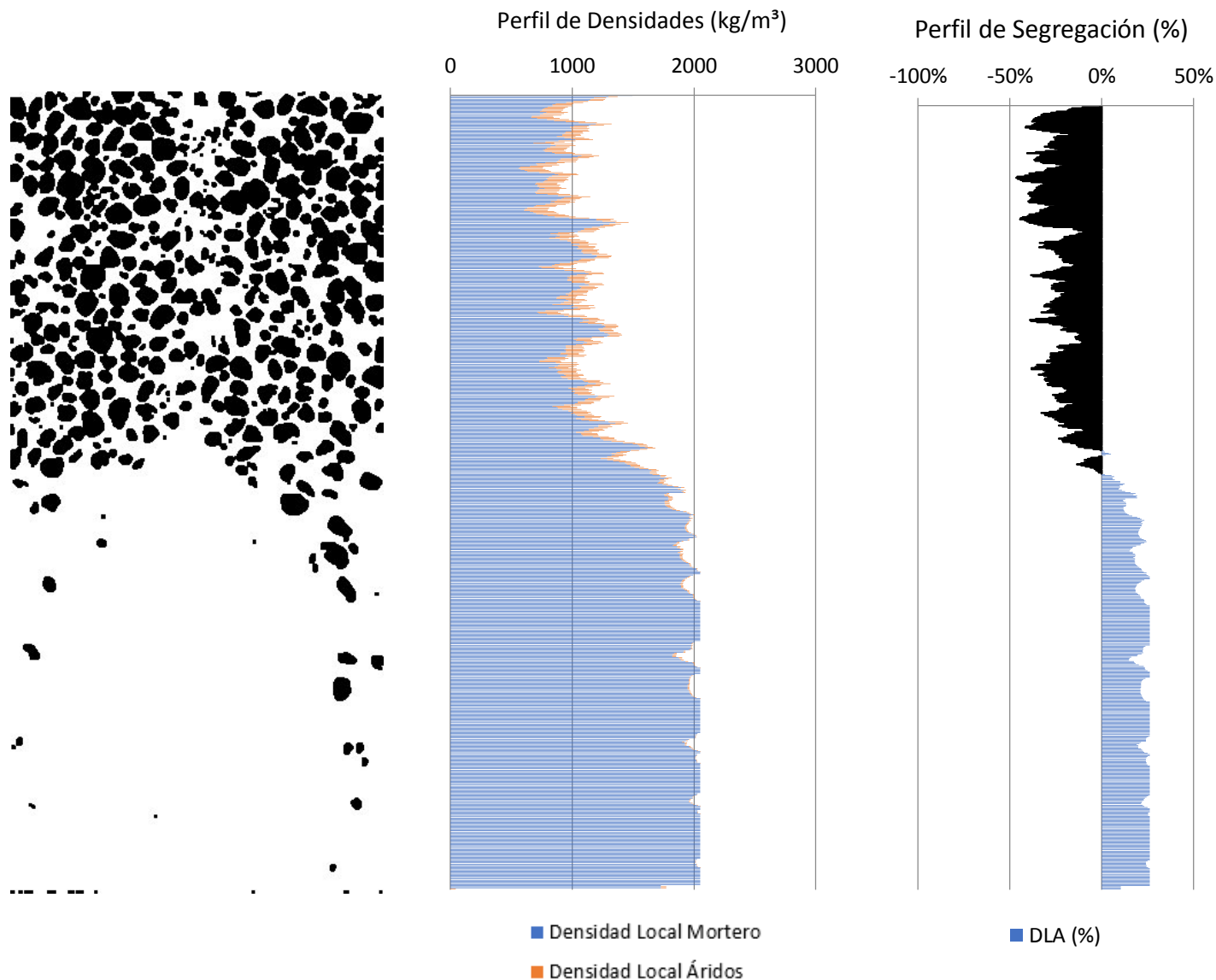
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLLTM1700C15V10B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	276
Matriz de Mortero	2050
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	26%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	22713
Total de Ptos (2/3) =	19288
Total de Ptos (3/3) =	17058
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	16448
Total de Ptos (2/4) =	16008
Total de Ptos (3/4) =	13620
Total de Ptos (4/4) =	12896
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1590.148
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1536.967
D(2/4) =	1550.691
D(3/4) =	1625.176
D(4/4) =	1647.758
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.932762
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	28%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	16%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

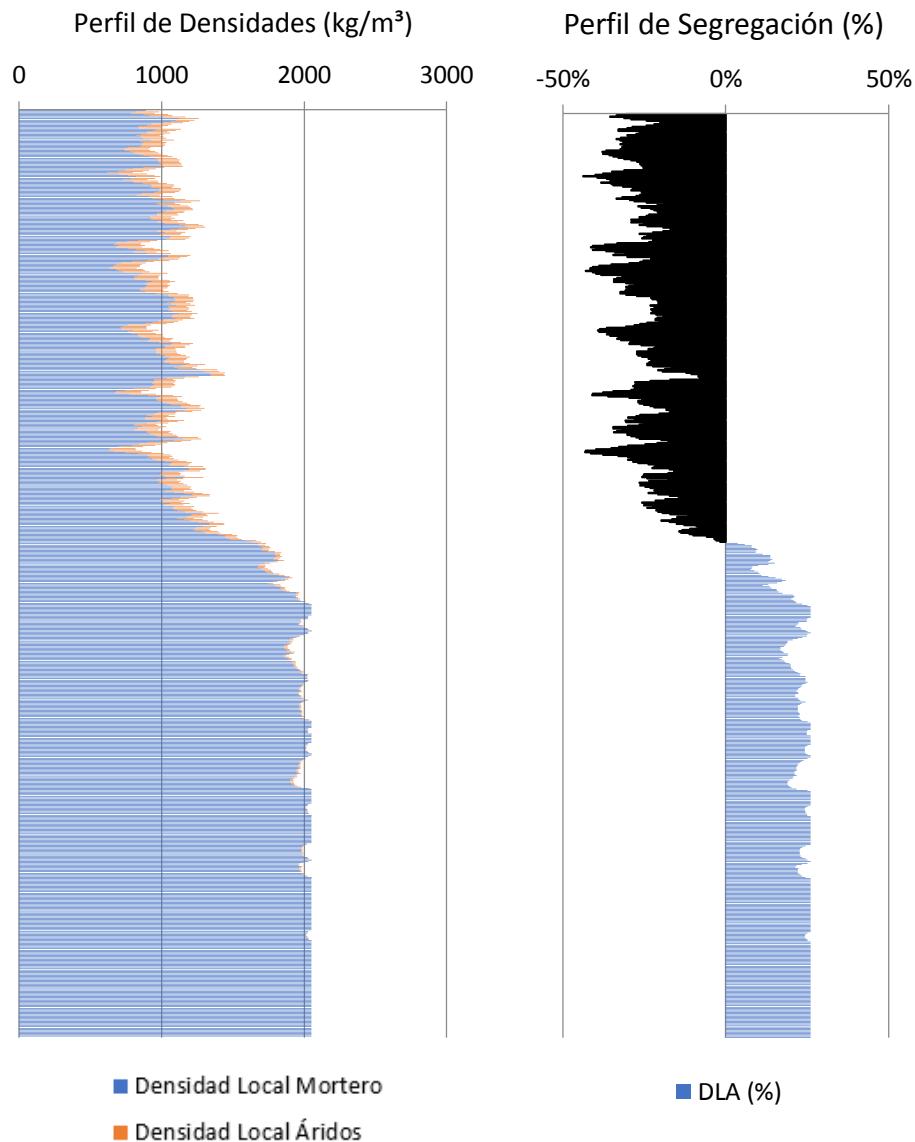
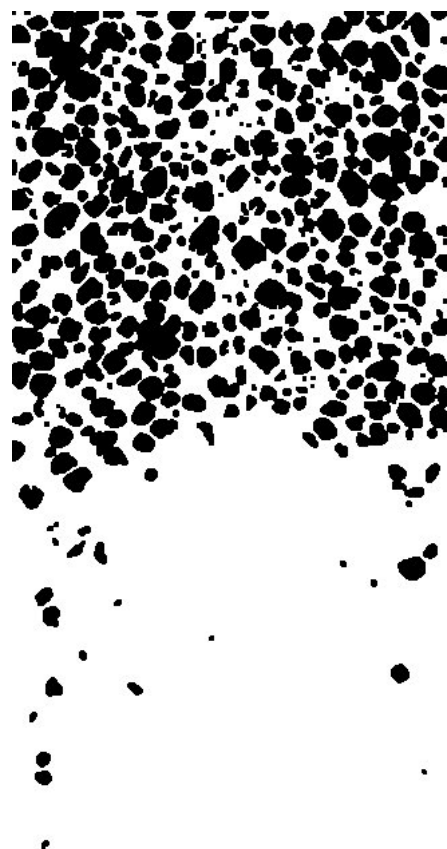
MUESTRA	
HLLTM1700C15V160A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	276
Matriz de Mortero	2050
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	26%
CDL (%) =	24%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	41244
Total de Ptos (2/3) =	17093
Total de Ptos (3/3) =	1222
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	31564
Total de Ptos (2/4) =	24488
Total de Ptos (3/4) =	2690
Total de Ptos (4/4) =	615
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1587.146
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1065.481
D(2/4) =	1286.19
D(3/4) =	1966.096
D(4/4) =	2030.817
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.524656
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	188%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	62%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

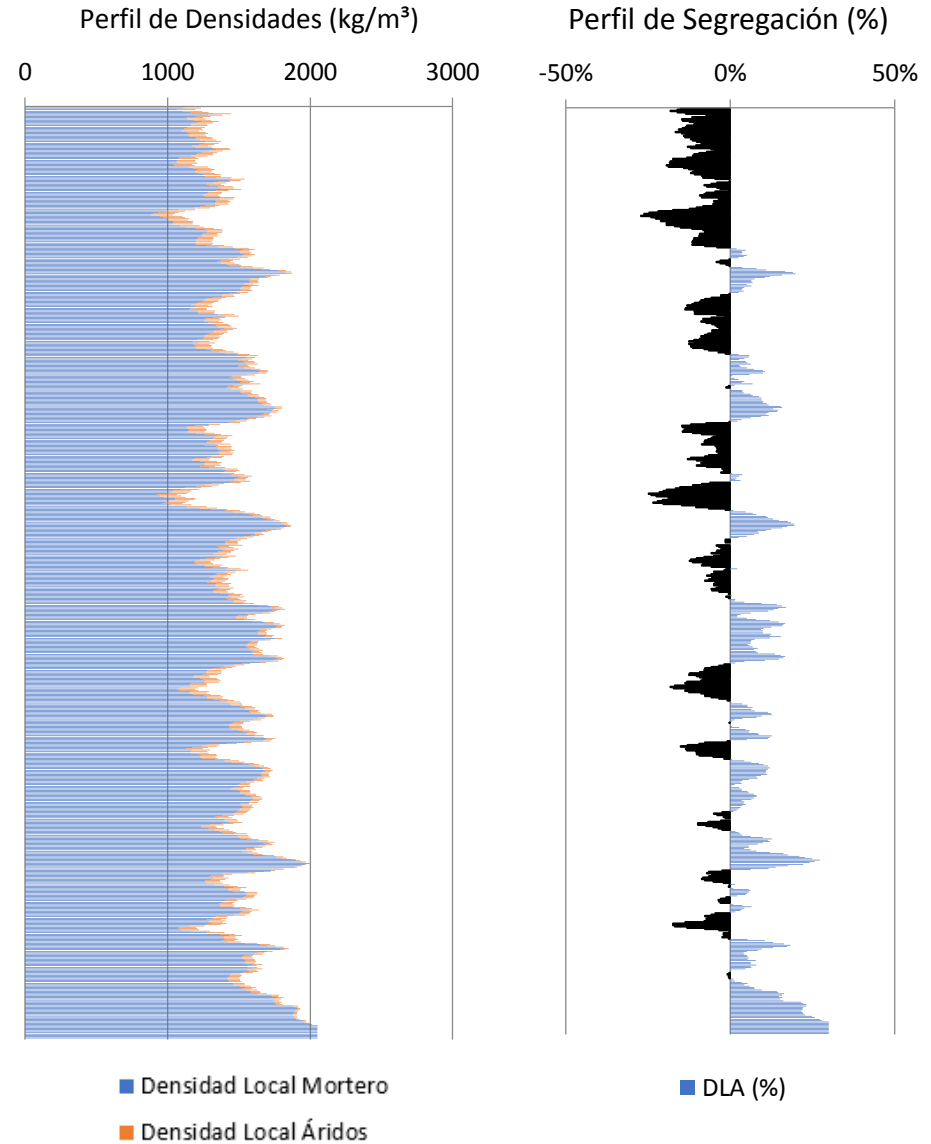
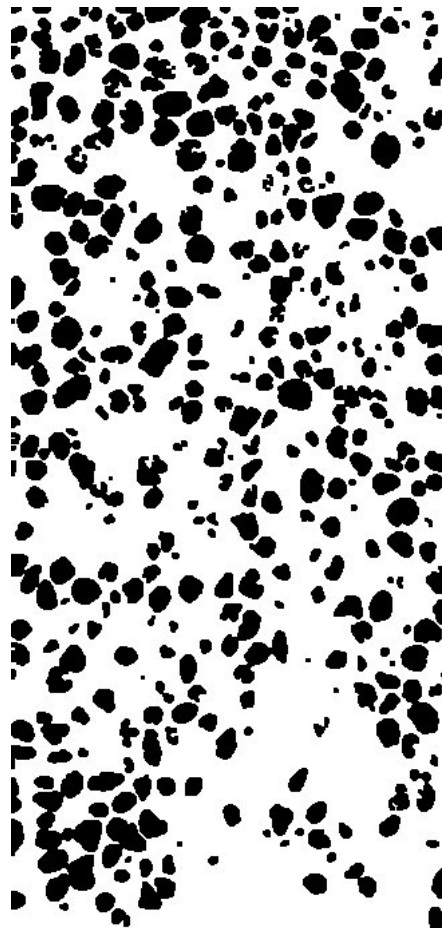


MUESTRA	
HLLTM1700C15V160B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	276
Matriz de Mortero	2050
RESULTADOS	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	26%
CDL (%) =	25%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	41213
Total de Ptos (2/3) =	17481
Total de Ptos (3/3) =	731
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	31560
Total de Ptos (2/4) =	25226
Total de Ptos (3/4) =	2160
Total de Ptos (4/4) =	295
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1588.05
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1065.605
D(2/4) =	1263.171
D(3/4) =	1982.627
D(4/4) =	2040.799
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.522151
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	193%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	64%



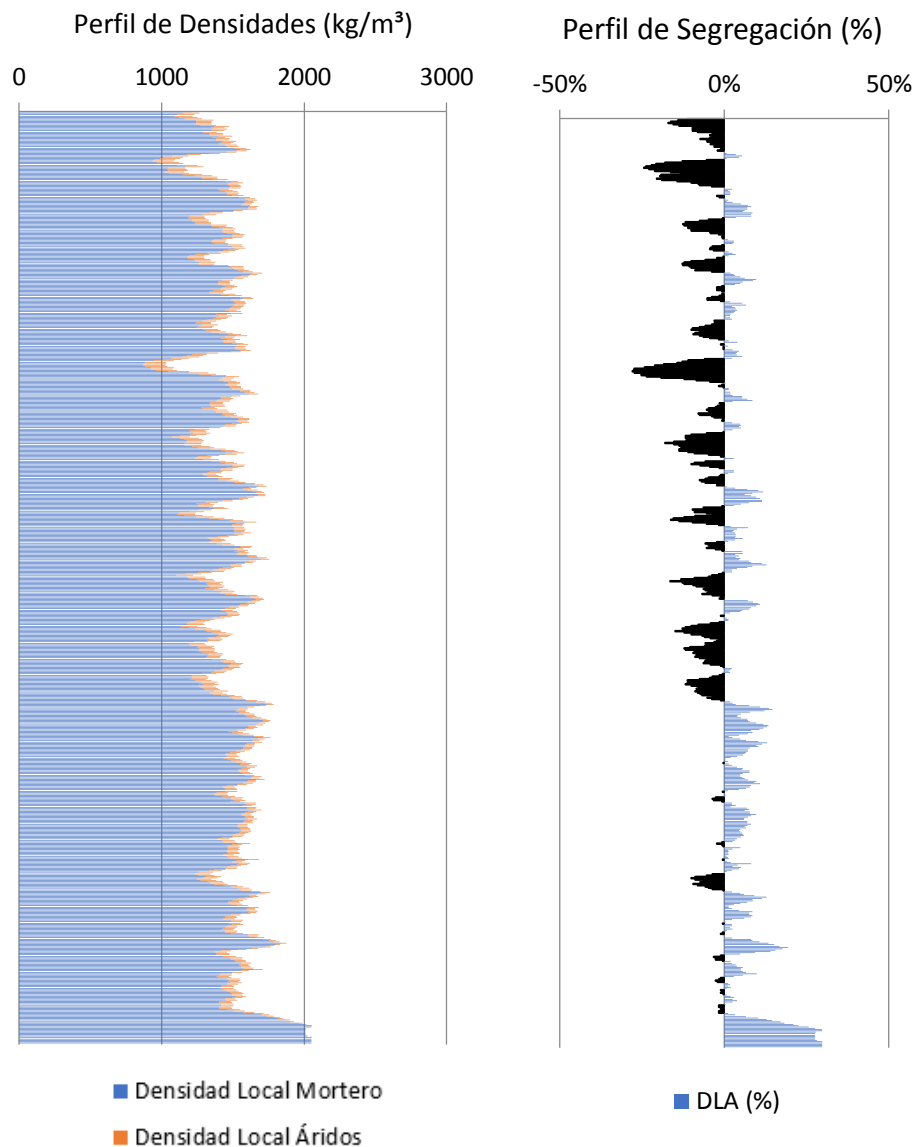
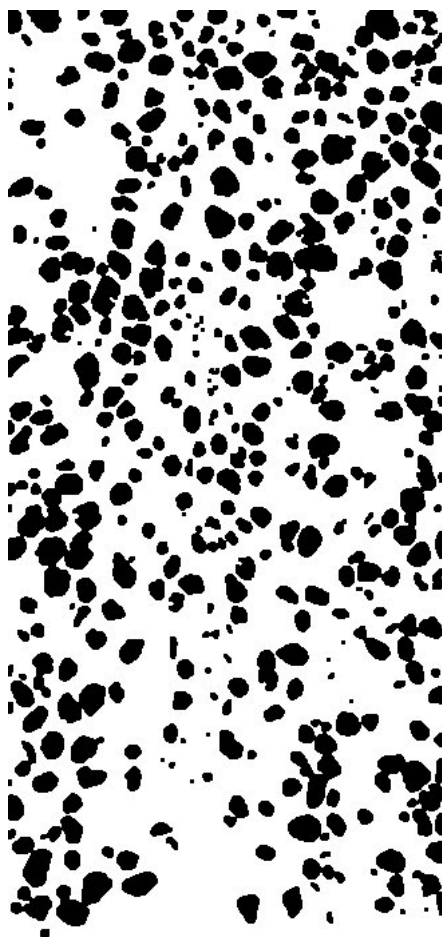
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLLTM1700C15V20A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	276
Matriz de Mortero	2050
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	30%
CDL (%) =	9%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	26286
Total de Ptos (2/3) =	23603
Total de Ptos (3/3) =	18290
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	21270
Total de Ptos (2/4) =	17884
Total de Ptos (3/4) =	15774
Total de Ptos (4/4) =	13184
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1518.876
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1386.563
D(2/4) =	1492.176
D(3/4) =	1557.99
D(4/4) =	1638.775
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.846097
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	36%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	21%



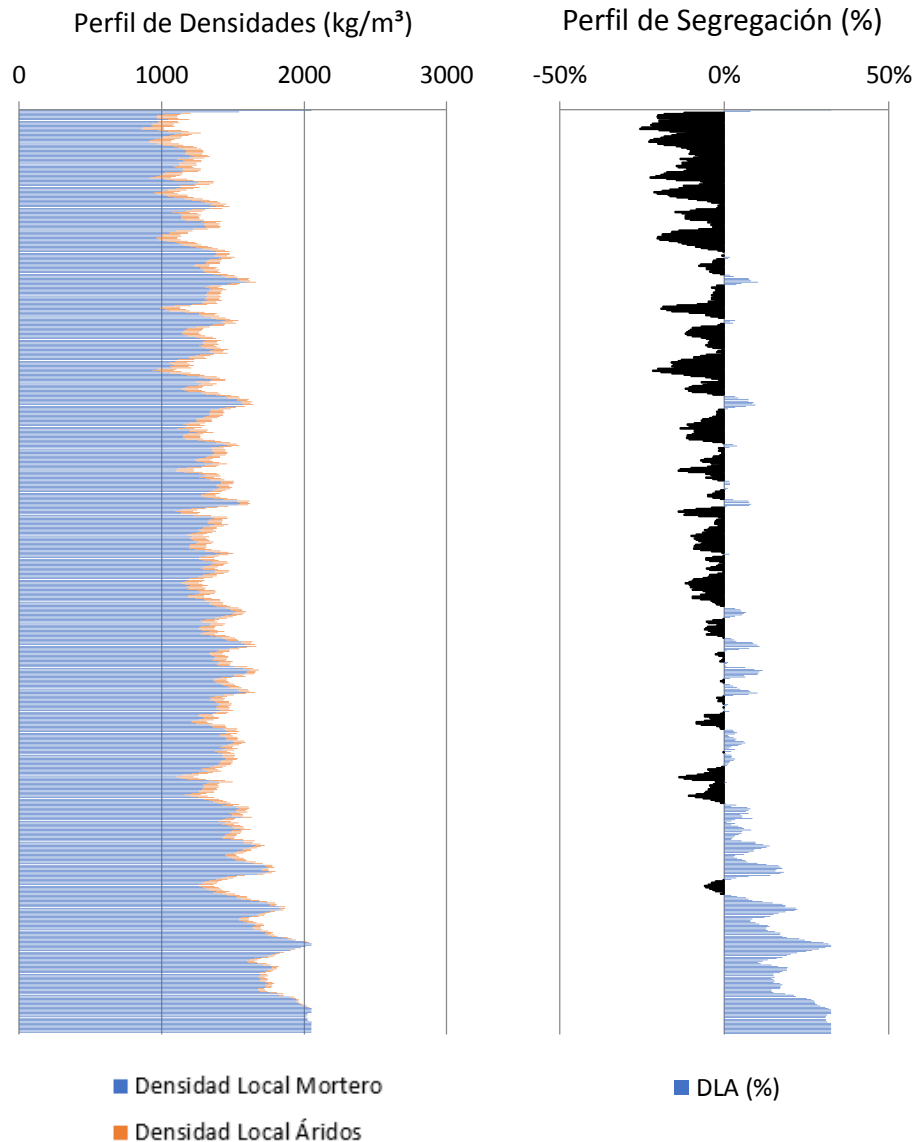
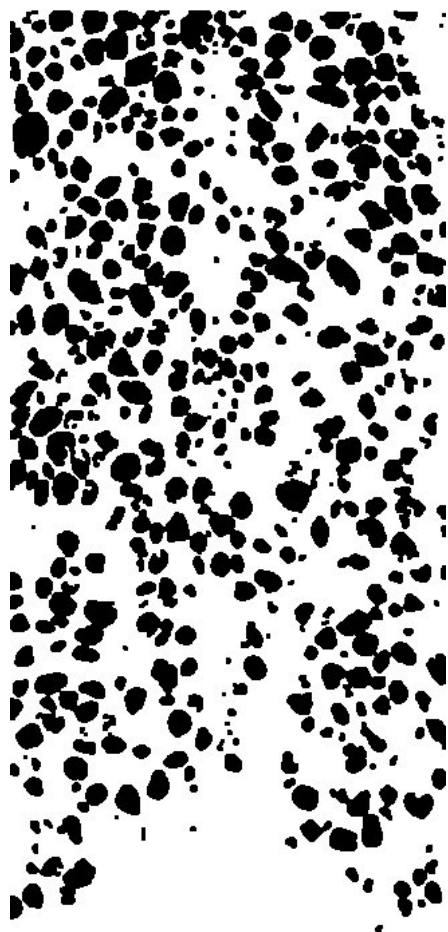
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLLTM1700C15V20B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	276
Matriz de Mortero	2050
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	30%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	25646
Total de Ptos (2/3) =	23823
Total de Ptos (3/3) =	18268
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	18965
Total de Ptos (2/4) =	18608
Total de Ptos (3/4) =	16478
Total de Ptos (4/4) =	13606
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1522.424
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1458.459
D(2/4) =	1469.594
D(3/4) =	1536.031
D(4/4) =	1625.612
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.897175
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	34%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	16%



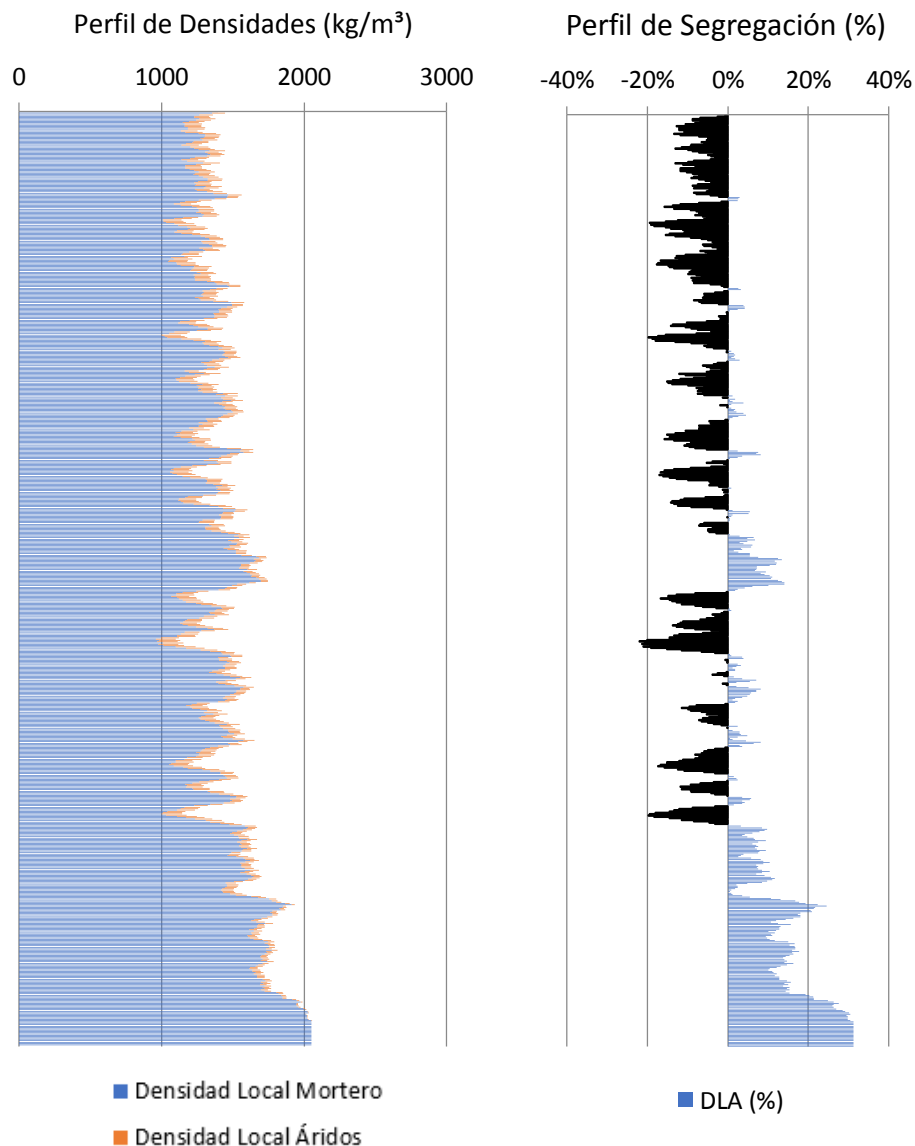
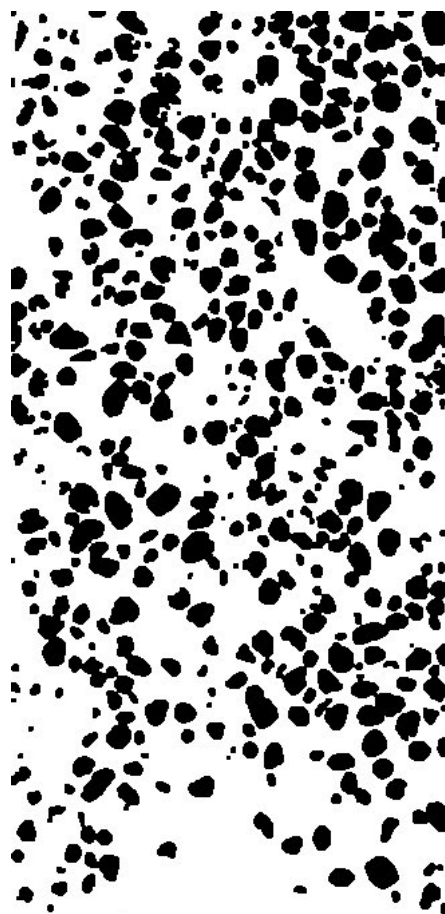
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLLTM1700C15V40A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	276
Matriz de Mortero	2050
RESULTADOS	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	33%
CDL (%) =	9%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	31073
Total de Ptos (2/3) =	26661
Total de Ptos (3/3) =	16534
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	23810
Total de Ptos (2/4) =	21205
Total de Ptos (3/4) =	19007
Total de Ptos (4/4) =	10126
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1471.809
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1307.337
D(2/4) =	1388.59
D(3/4) =	1457.149
D(4/4) =	1734.158
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.753874
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	61%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	20%



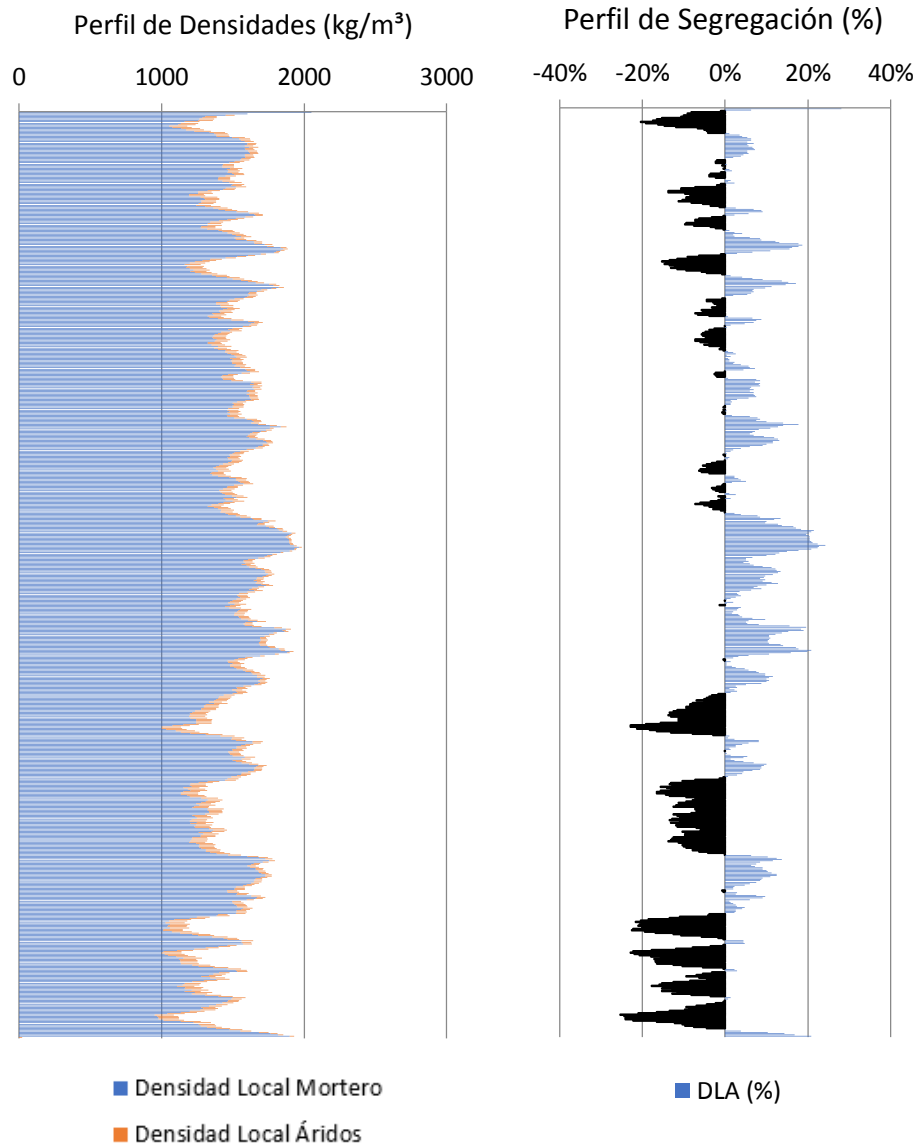
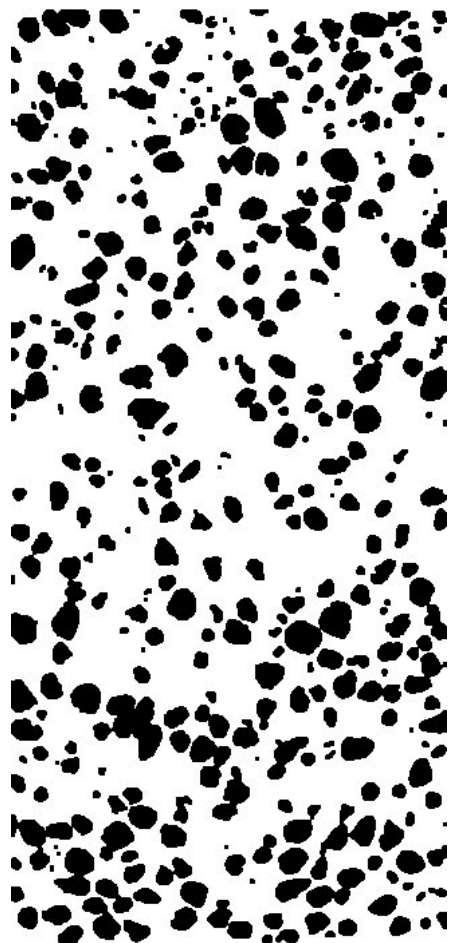
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLLTM1700C15V40B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	276
Matriz de Mortero	2050
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	31%
CDL (%) =	9%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	28896
Total de Ptos (2/3) =	25861
Total de Ptos (3/3) =	16606
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	22289
Total de Ptos (2/4) =	19082
Total de Ptos (3/4) =	20048
Total de Ptos (4/4) =	9819
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1494.5
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1354.779
D(2/4) =	1454.809
D(3/4) =	1424.679
D(4/4) =	1743.734
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.776942
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	54%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	21%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

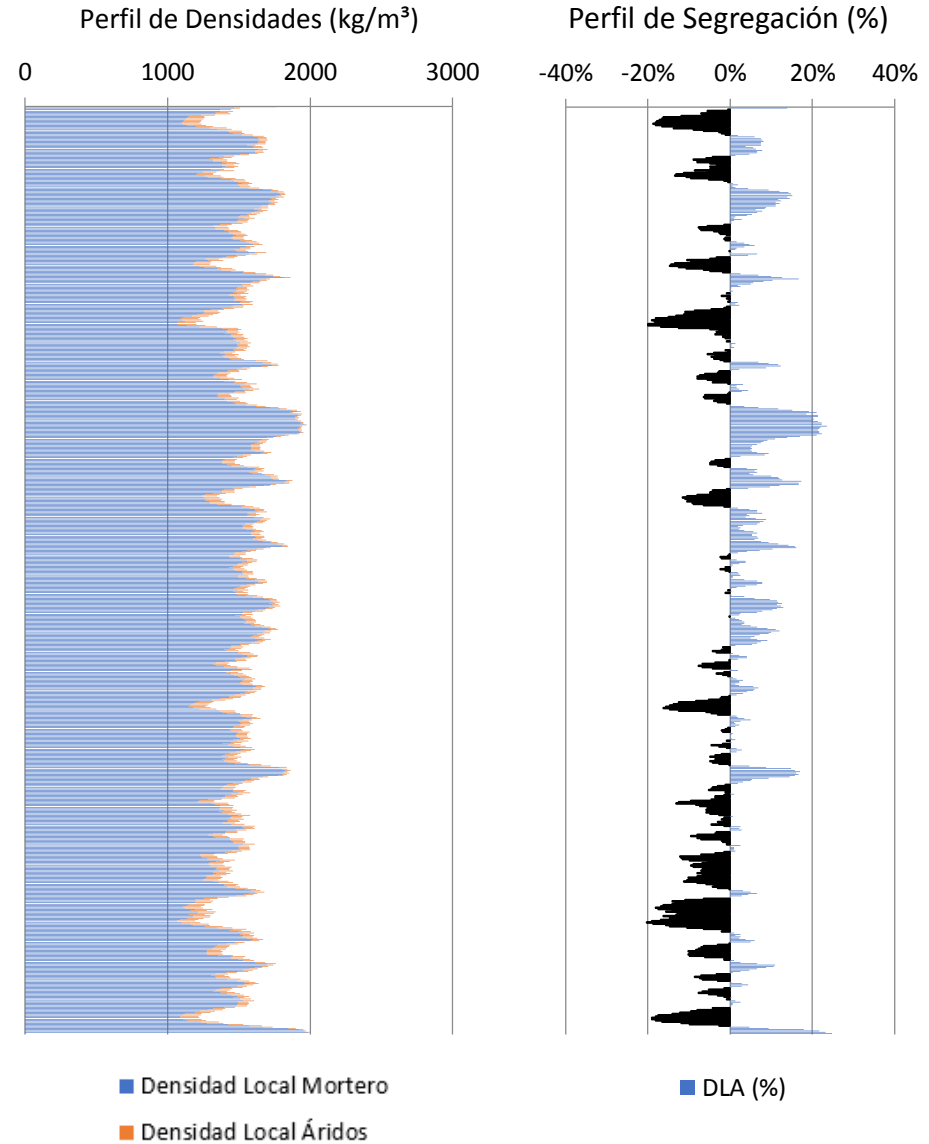
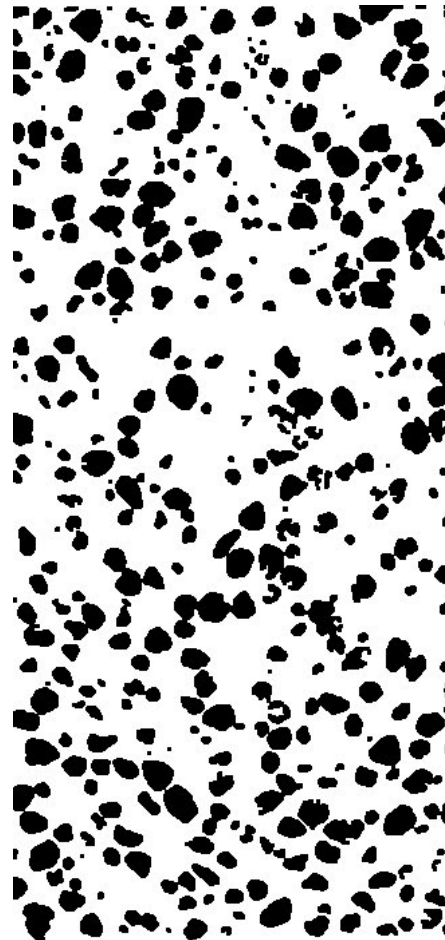
MUESTRA	
HLLTM1700C15V5A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	276
Matriz de Mortero	2050
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	28%
CDL (%) =	8%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	21464
Total de Ptos (2/3) =	17508
Total de Ptos (3/3) =	25216
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	16503
Total de Ptos (2/4) =	13001
Total de Ptos (3/4) =	15305
Total de Ptos (4/4) =	19313
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1549.989
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1535.251
D(2/4) =	1644.483
D(3/4) =	1572.619
D(4/4) =	1447.604
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.060546
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	16%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	20%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

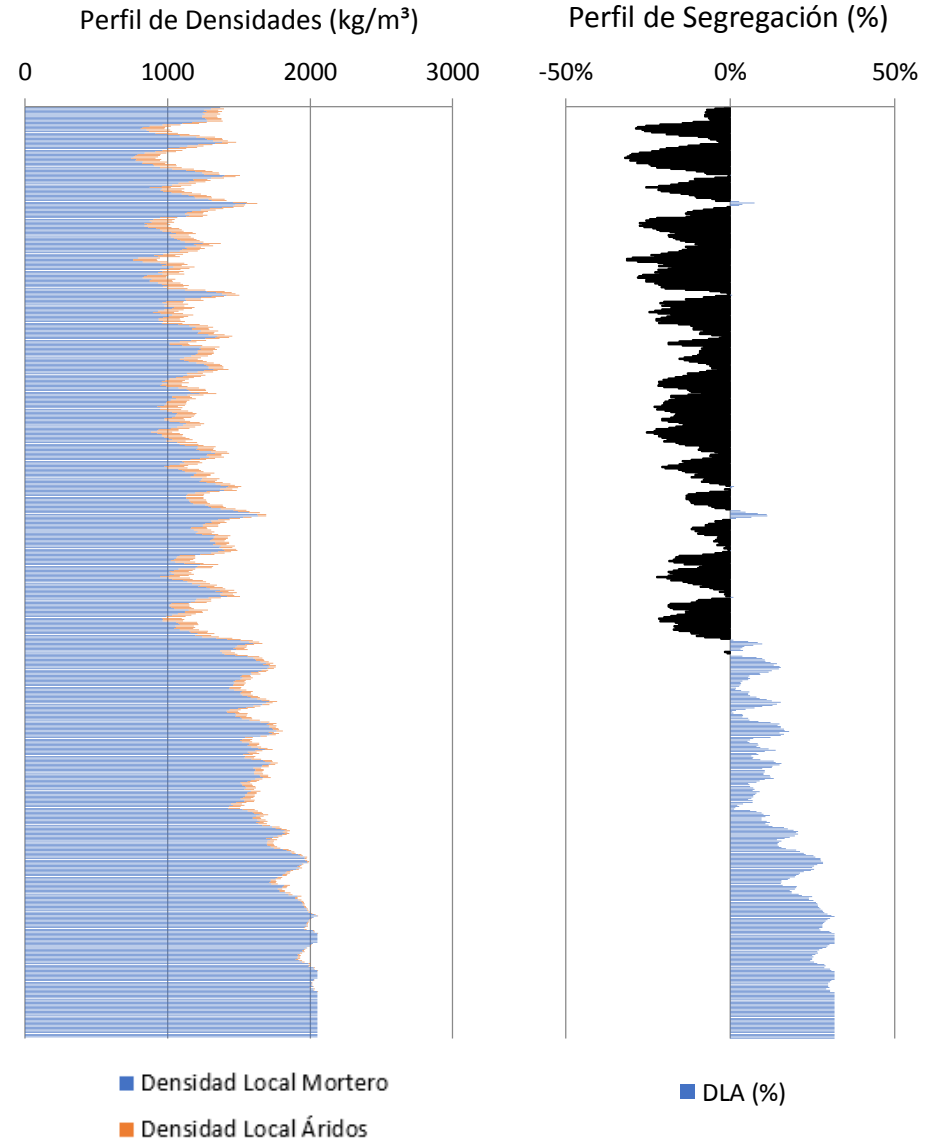
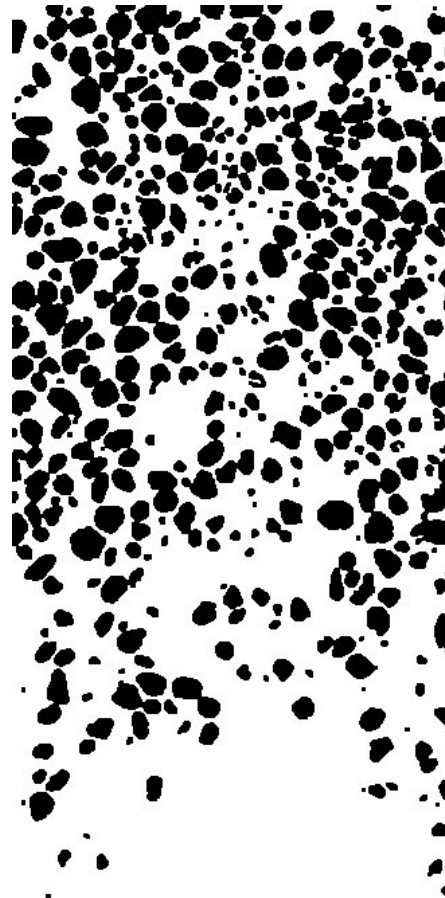


MUESTRA	
HLLTM1700C15V5B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	276
Matriz de Mortero	2050
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	28%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	21701
Total de Ptos (2/3) =	18120
Total de Ptos (3/3) =	23384
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	16712
Total de Ptos (2/4) =	13213
Total de Ptos (3/4) =	14915
Total de Ptos (4/4) =	18344
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1557.304
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1528.733
D(2/4) =	1637.871
D(3/4) =	1584.783
D(4/4) =	1477.828
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.034445
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	7%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	16%



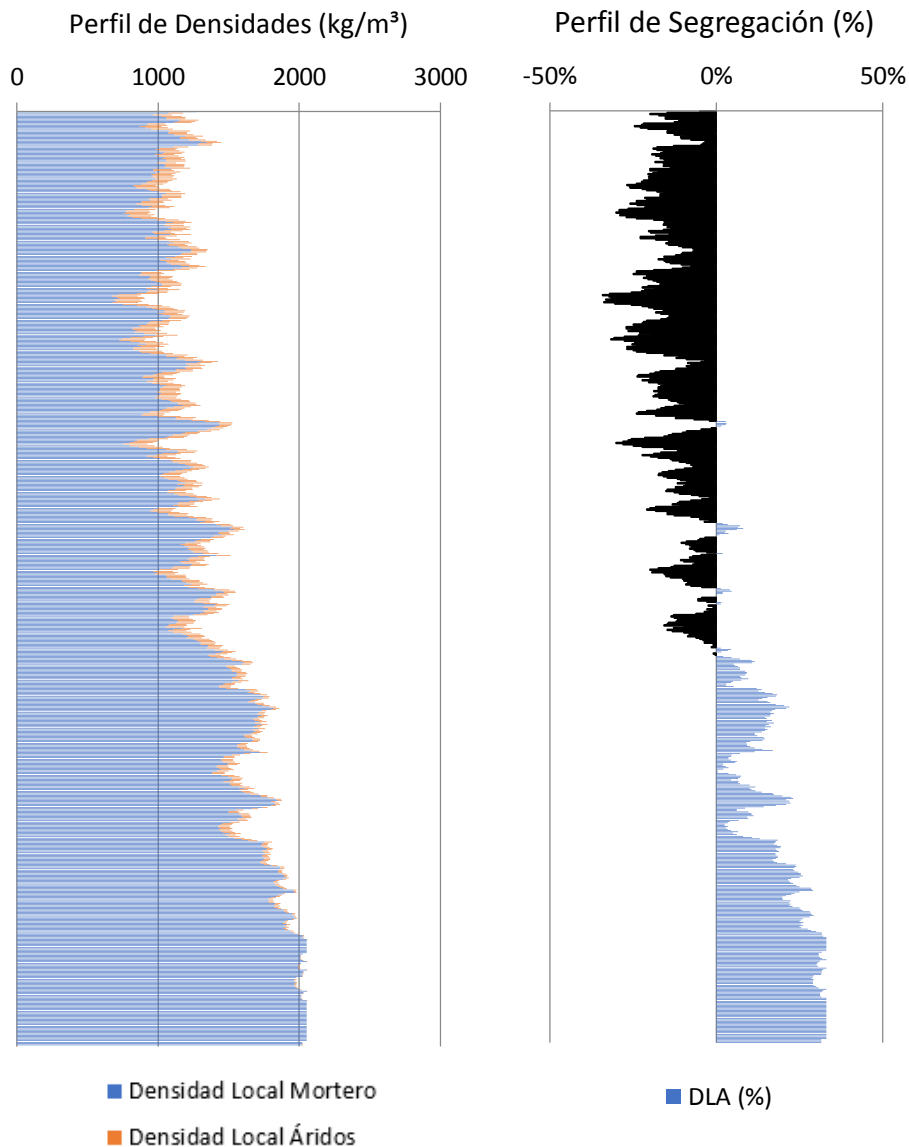
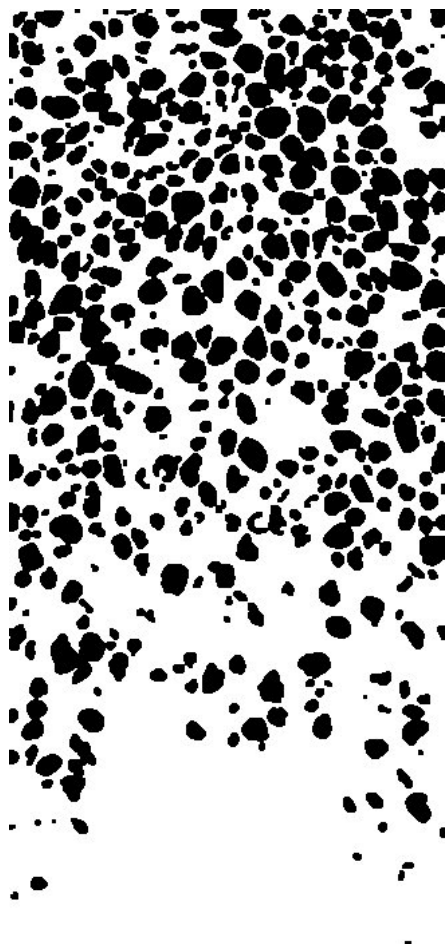
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLLTM1700C15V80A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	276
Matriz de Mortero	2050
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	32%
CDL (%) =	16%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	36039
Total de Ptos (2/3) =	28280
Total de Ptos (3/3) =	7953
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	27172
Total de Ptos (2/4) =	24470
Total de Ptos (3/4) =	16673
Total de Ptos (4/4) =	3796
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1487.693
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1202.472
D(2/4) =	1286.751
D(3/4) =	1529.949
D(4/4) =	1931.598
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.622527
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	128%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	36%



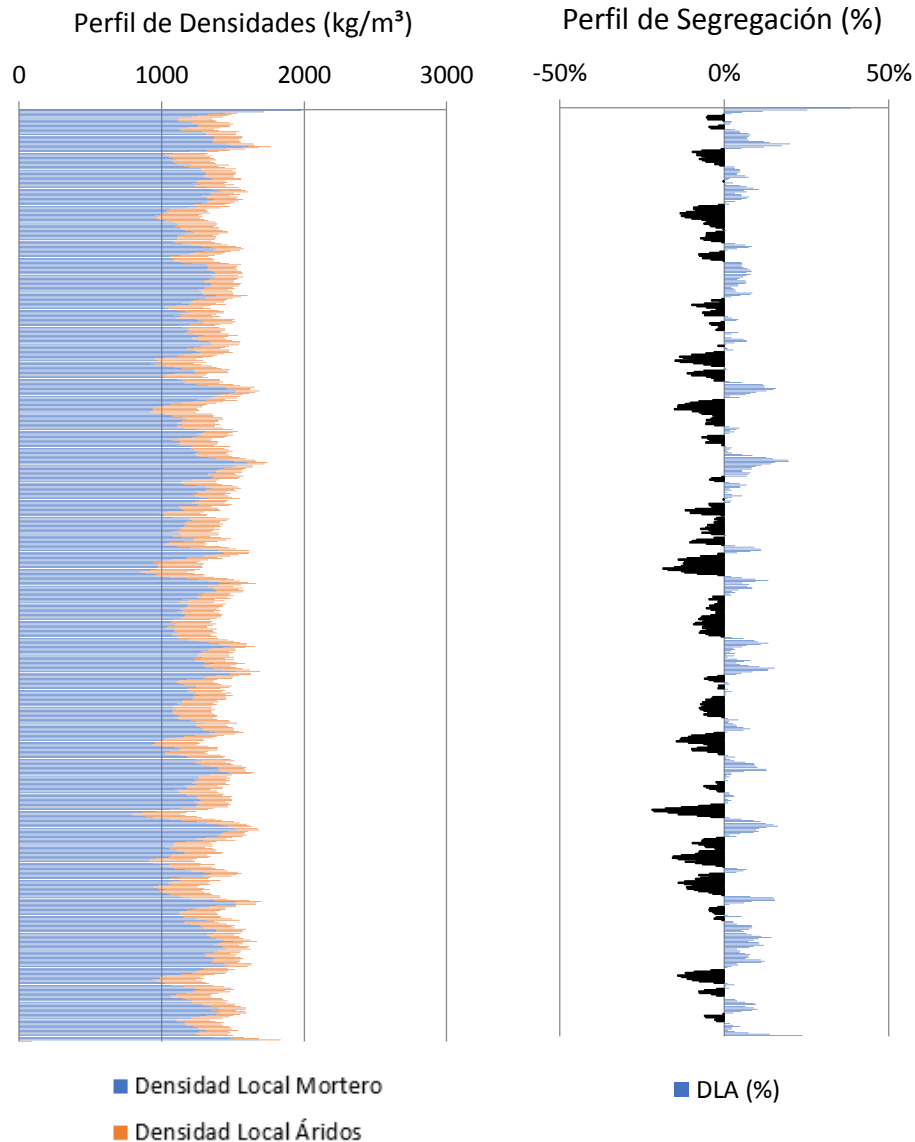
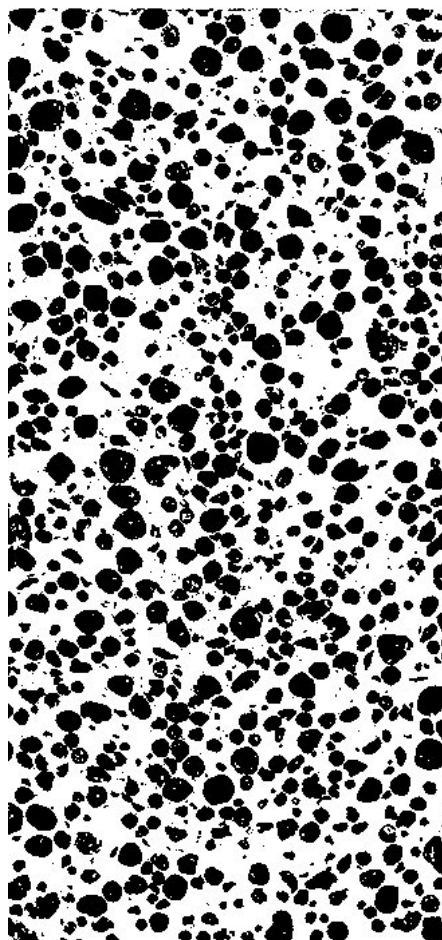
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLLTM1700C15V80B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	276
Matriz de Mortero	2050
MUESTRA	
1. Distribución de los puntos	
1.1 Distribución Global	
IAG (%) =	33%
CDL (%) =	17%
1.2 Distribución em 3 Zonas	
Total de Ptos (1/3) =	38881
Total de Ptos (2/3) =	27614
Total de Ptos (3/3) =	8720
1.3 Distribución em 4 Zonas	
Total de Ptos (1/4) =	29522
Total de Ptos (2/4) =	25641
Total de Ptos (3/4) =	15536
Total de Ptos (4/4) =	4418
2. Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
2.1 Mitades de Probeta	
Dmp =	1464.252
2.2 Cuartos de Probeta	
D(1/4) =	1129.173
D(2/4) =	1250.226
D(3/4) =	1565.413
D(4/4) =	1912.197
3. Índices de Segregación	
3.1 Según Ke et al	
IS (Ke) =	0.590511
3.2 Según Navarrete et al	
IS (Navarrete) =	127%
Concepto:	
3.3 Según Solak	
IS vertical (Solak) =	38%



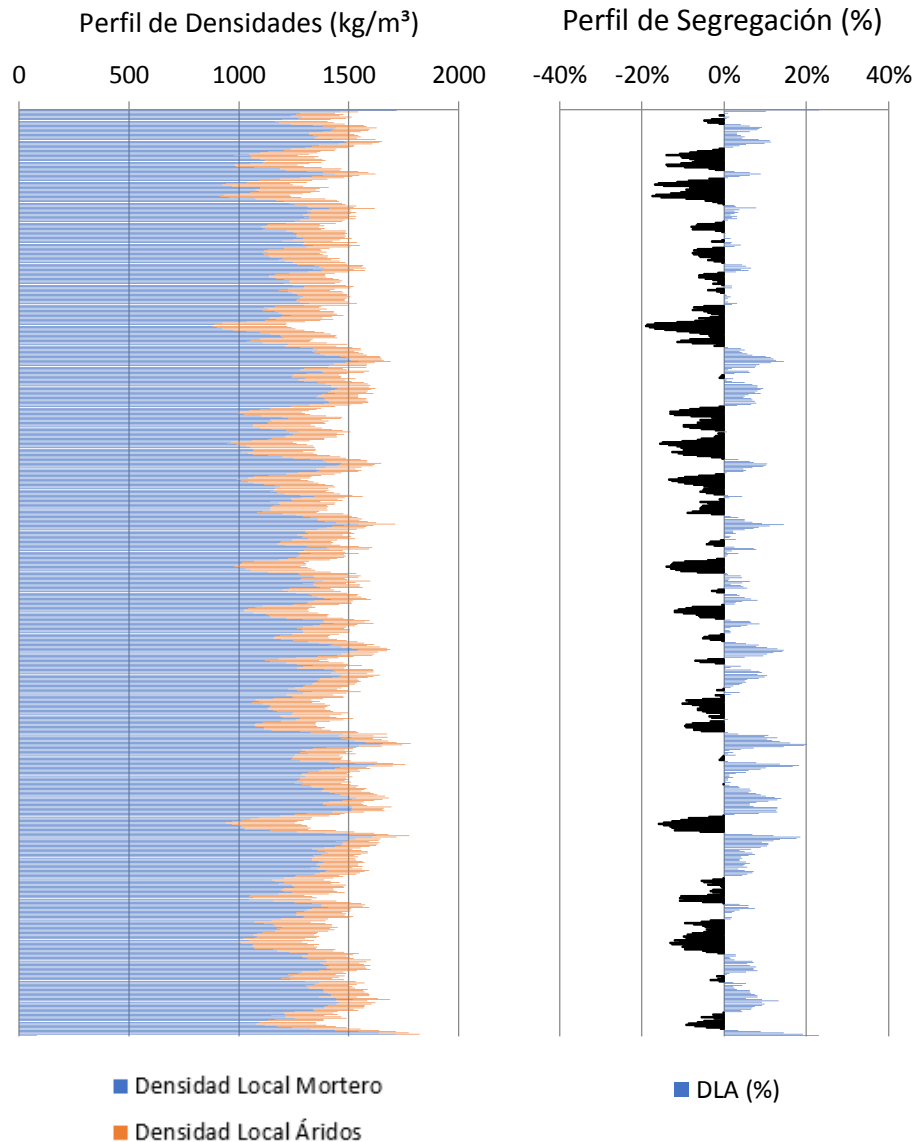
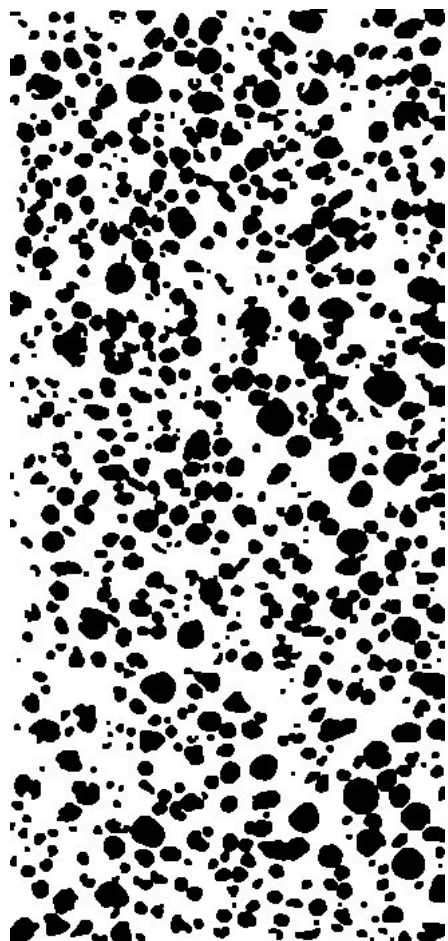
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLHS1700C15V05A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	1979
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	38%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	29116
Total de Ptos (2/3) =	29458
Total de Ptos (3/3) =	29100
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	21303
Total de Ptos (2/4) =	22595
Total de Ptos (3/4) =	21876
Total de Ptos (4/4) =	21764
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1452.233
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1466.23
D(2/4) =	1435.131
D(3/4) =	1452.437
D(4/4) =	1455.133
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.007626
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	0%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	13%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

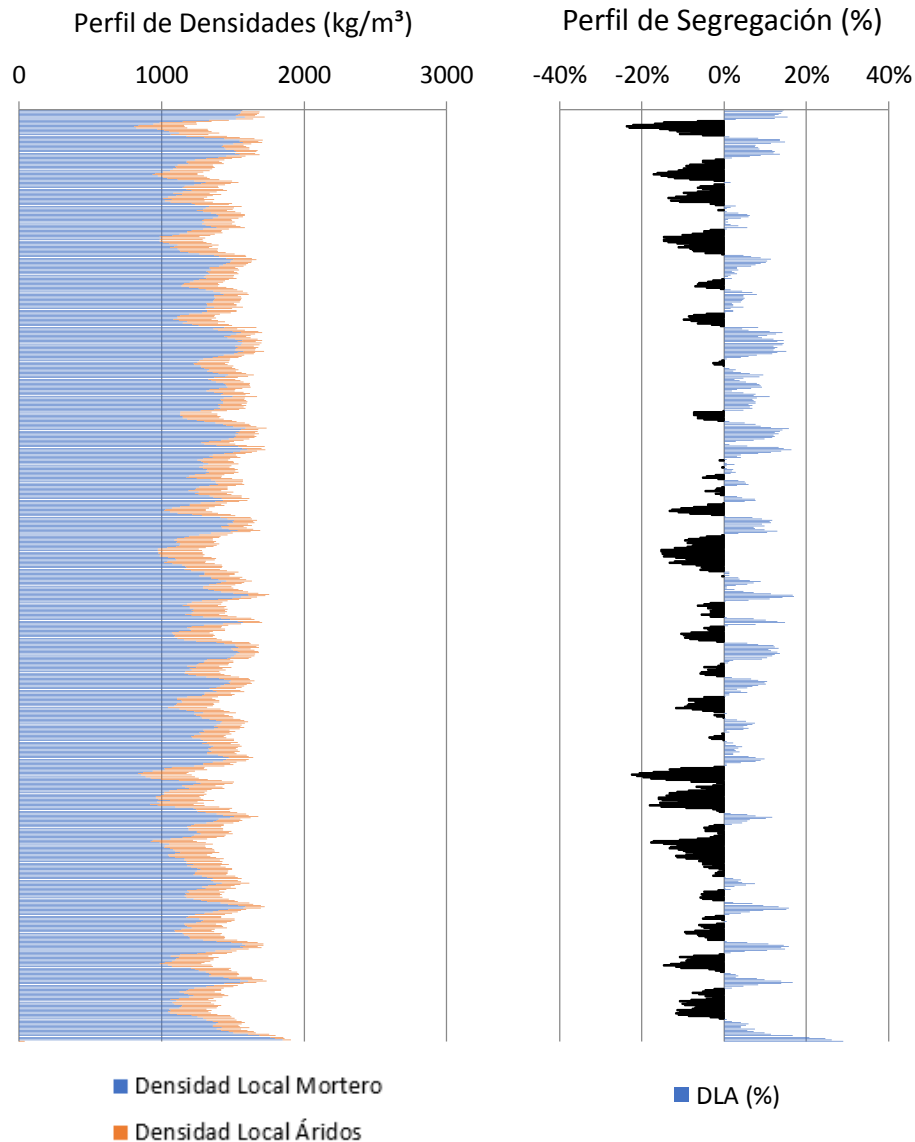
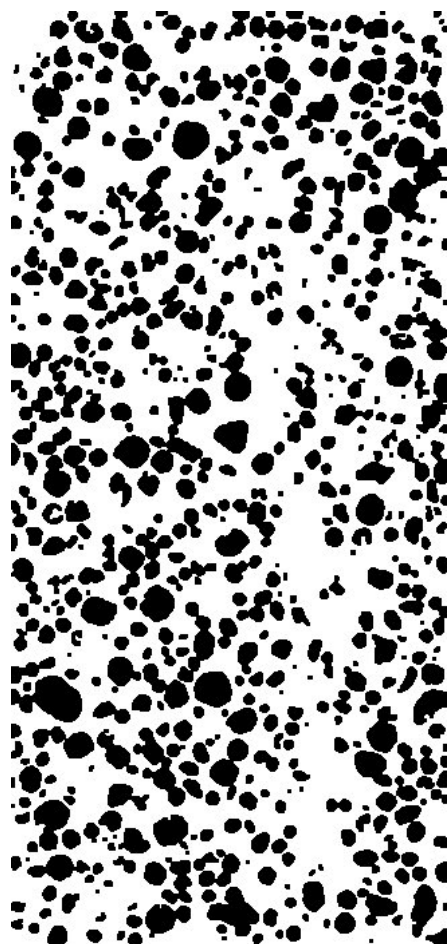
MUESTRA	
HLHS1700C15V05B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	1979
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	36%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	28572
Total de Ptos (2/3) =	28445
Total de Ptos (3/3) =	25828
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	22155
Total de Ptos (2/4) =	21160
Total de Ptos (3/4) =	19274
Total de Ptos (4/4) =	20132
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1481.22
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1445.722
D(2/4) =	1469.672
D(3/4) =	1515.068
D(4/4) =	1494.416
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.967416
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	10%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	13%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.



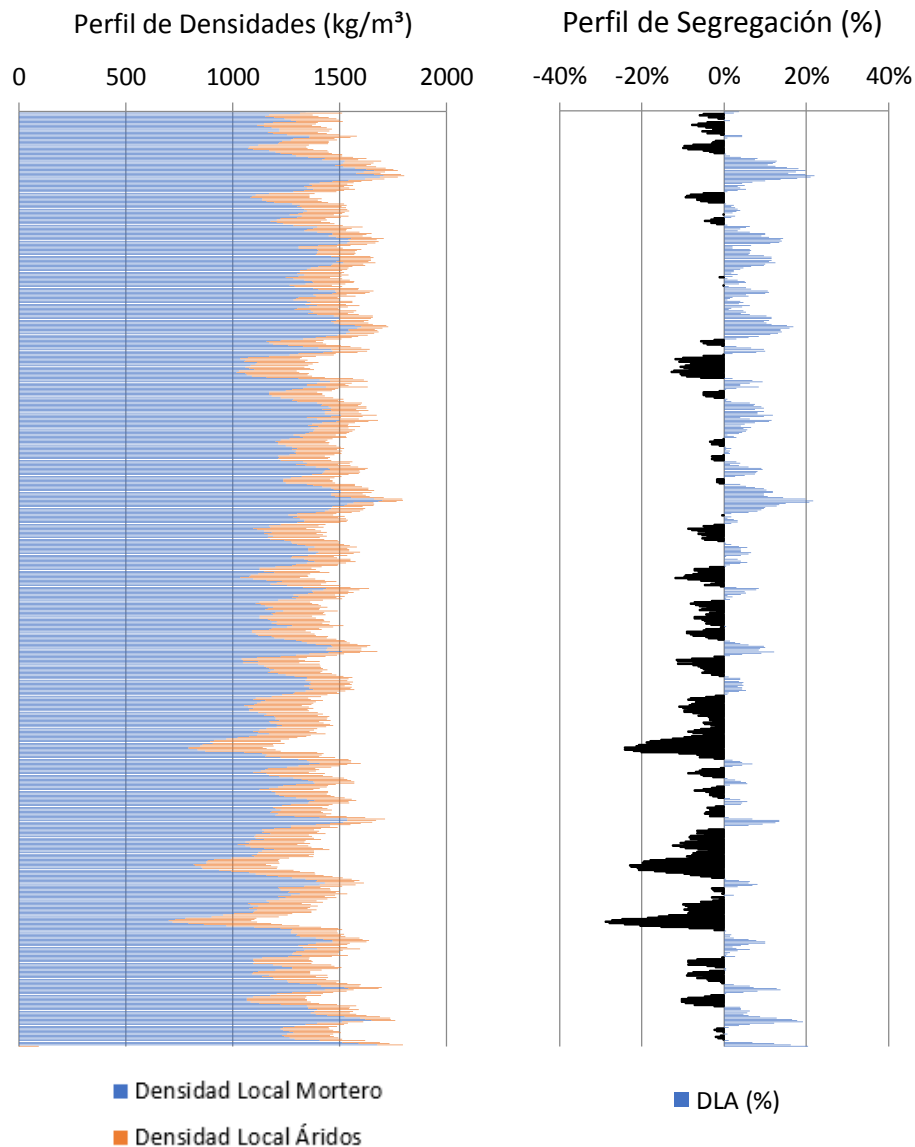
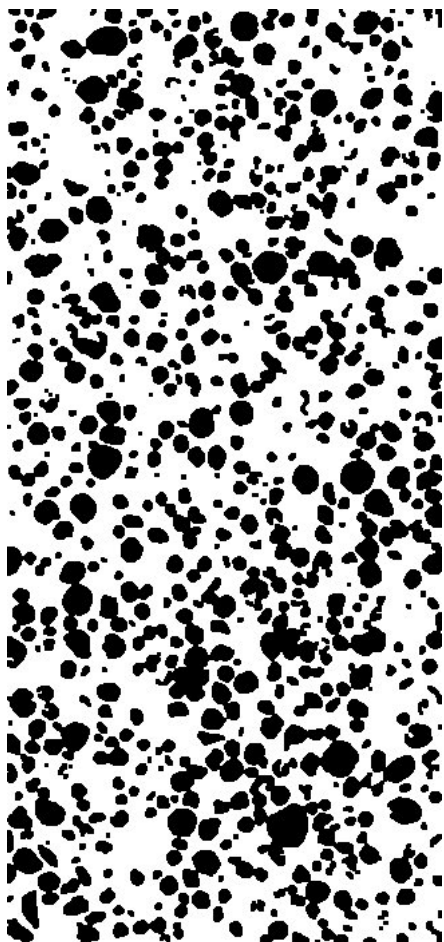
MUESTRA	
HLHS1700C15V10A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	1979
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	35%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	26428
Total de Ptos (2/3) =	26006
Total de Ptos (3/3) =	28288
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	20557
Total de Ptos (2/4) =	18971
Total de Ptos (3/4) =	20532
Total de Ptos (4/4) =	20542
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1493.971
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1484.186
D(2/4) =	1522.362
D(3/4) =	1484.788
D(4/4) =	1484.547
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.999757
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	7%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	15%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

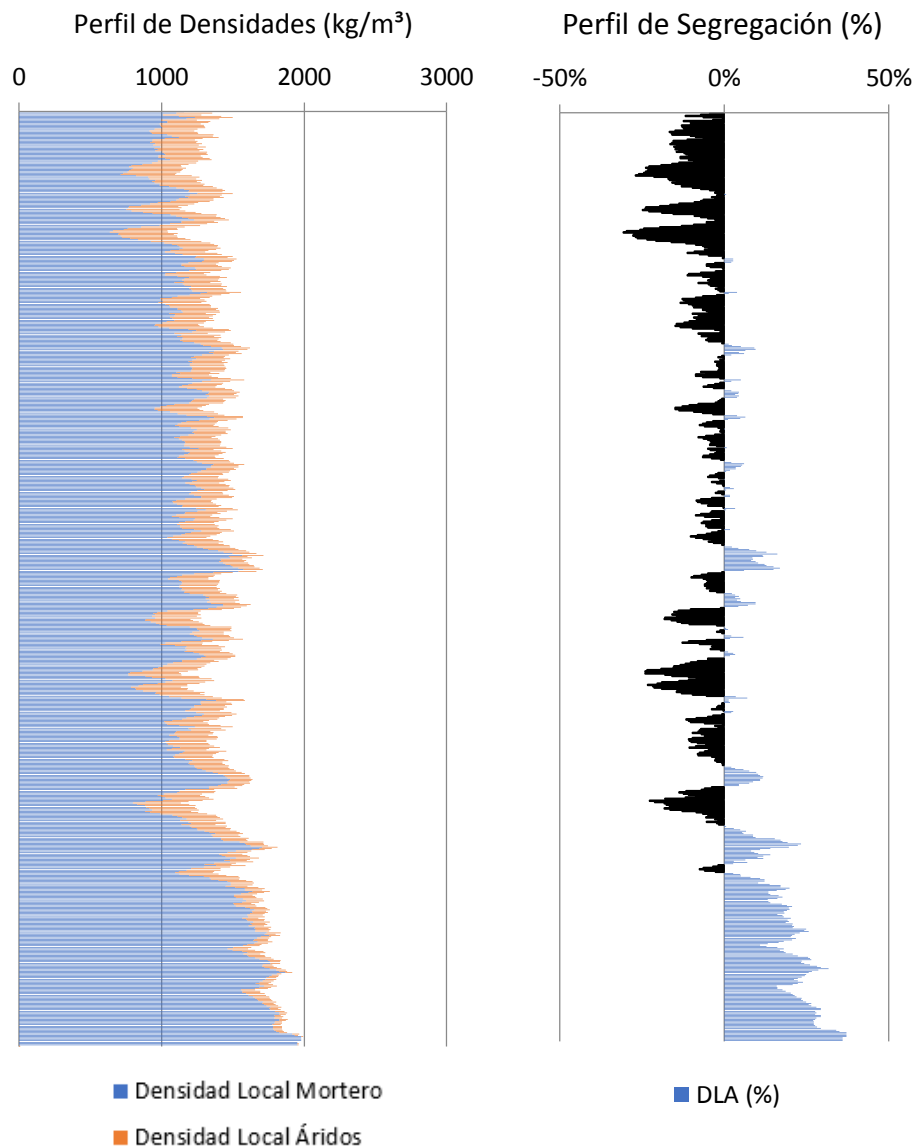
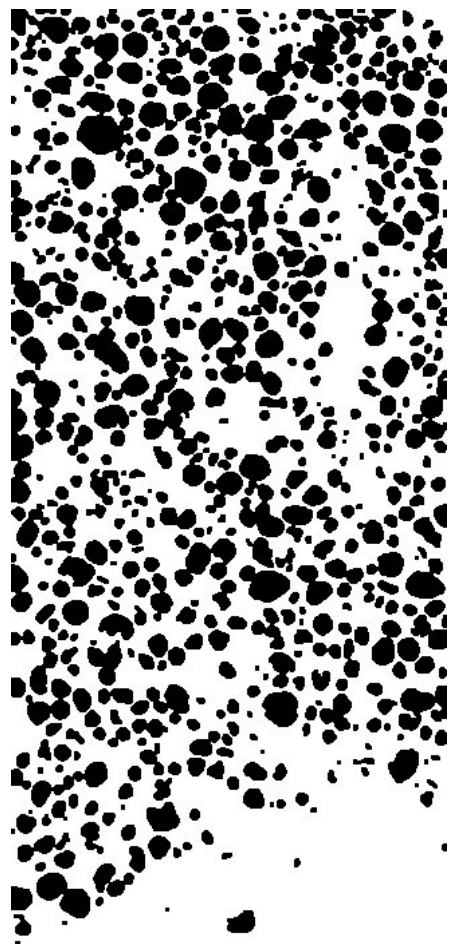


MUESTRA	
HLHS1700C15V10B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	1979
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	36%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	24673
Total de Ptos (2/3) =	27267
Total de Ptos (3/3) =	29714
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	17911
Total de Ptos (2/4) =	19361
Total de Ptos (3/4) =	22280
Total de Ptos (4/4) =	22010
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1488.194
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1547.876
D(2/4) =	1512.974
D(3/4) =	1442.713
D(4/4) =	1449.212
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.068081
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	19%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	14%



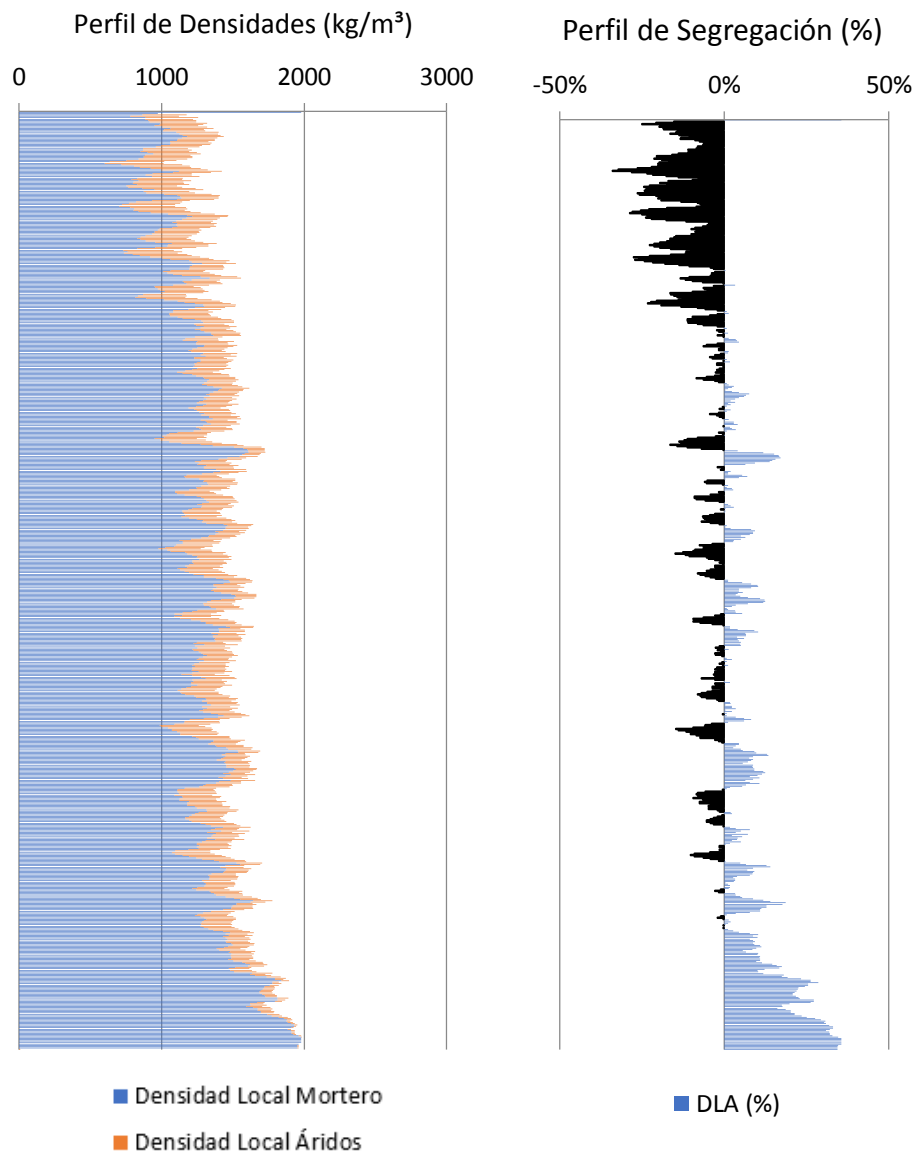
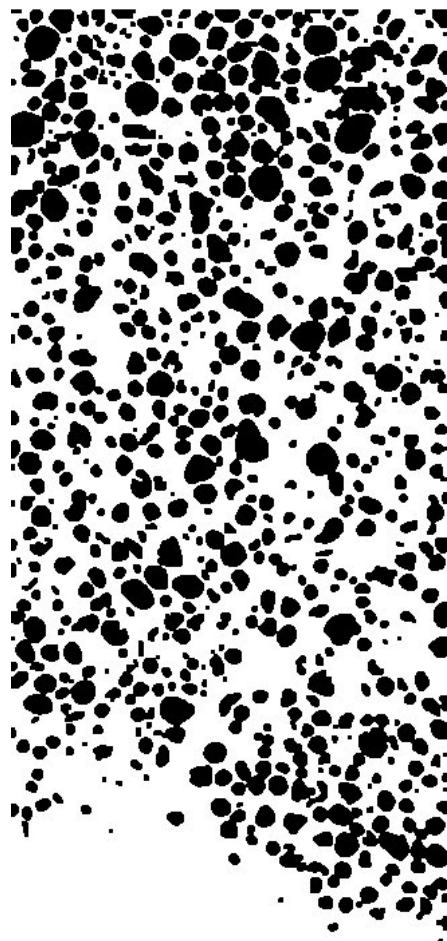
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLHS1700C15V160A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	1979
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	37%
CDL (%) =	10%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	34534
Total de Ptos (2/3) =	30883
Total de Ptos (3/3) =	19314
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	27108
Total de Ptos (2/4) =	21686
Total de Ptos (3/4) =	24353
Total de Ptos (4/4) =	11446
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1469.955
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1326.502
D(2/4) =	1457.011
D(3/4) =	1392.815
D(4/4) =	1703.491
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.778696
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	57%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	22%



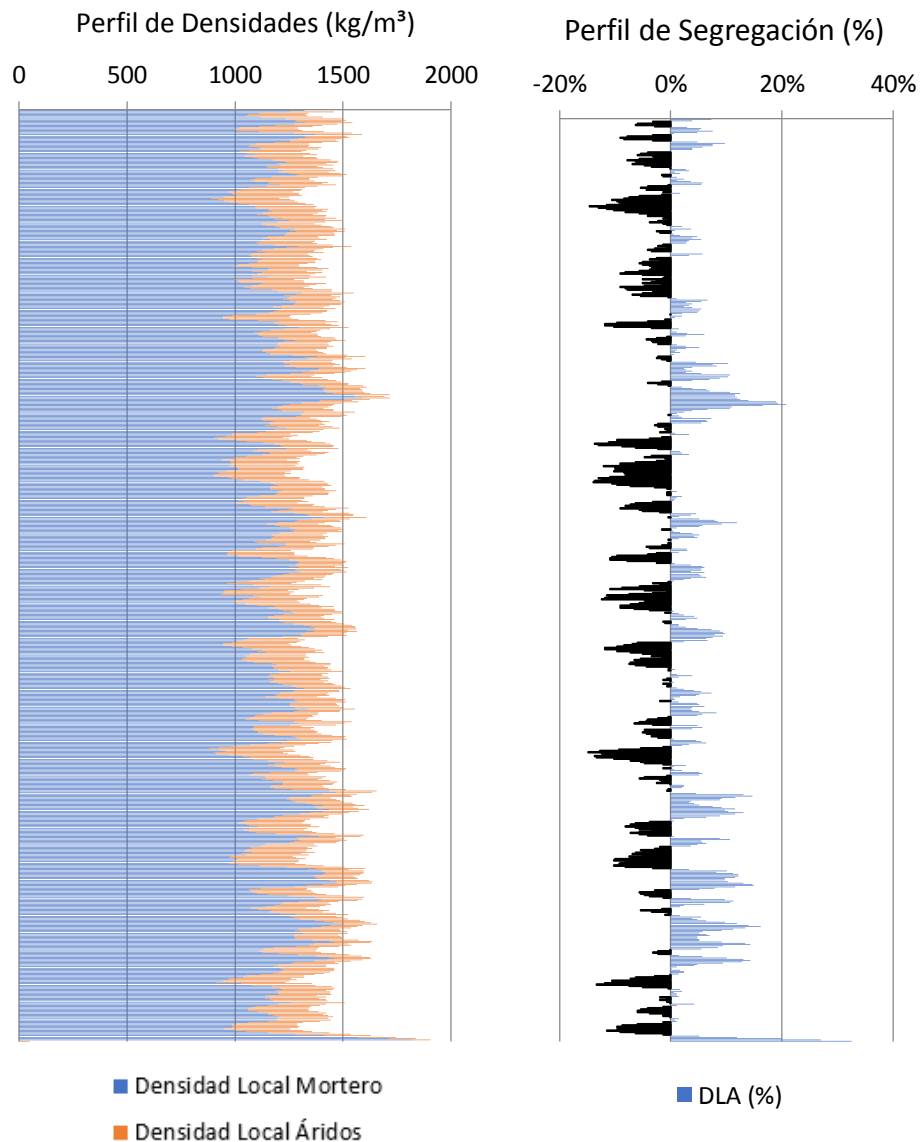
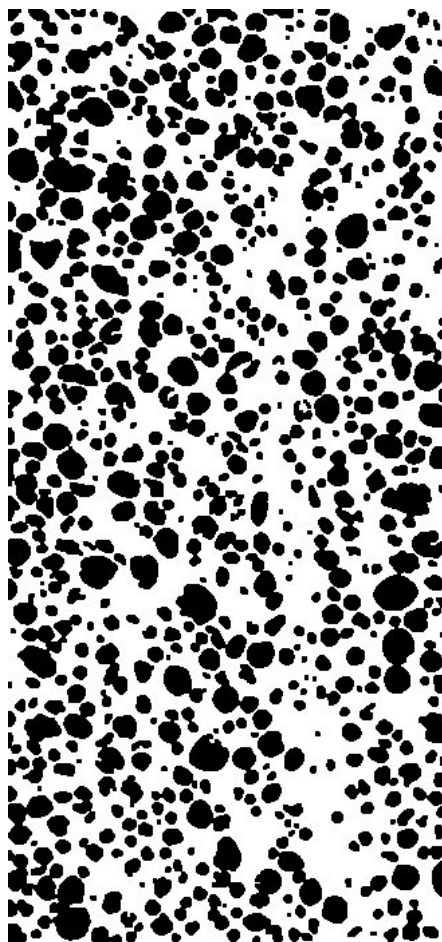
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLHS1700C15V160B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	1979
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	36%
CDL (%) =	9%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	34203
Total de Ptos (2/3) =	27387
Total de Ptos (3/3) =	19517
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	27426
Total de Ptos (2/4) =	20551
Total de Ptos (3/4) =	19640
Total de Ptos (4/4) =	13386
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1491.558
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1318.847
D(2/4) =	1484.331
D(3/4) =	1506.259
D(4/4) =	1656.795
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.796023
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	55%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	20%



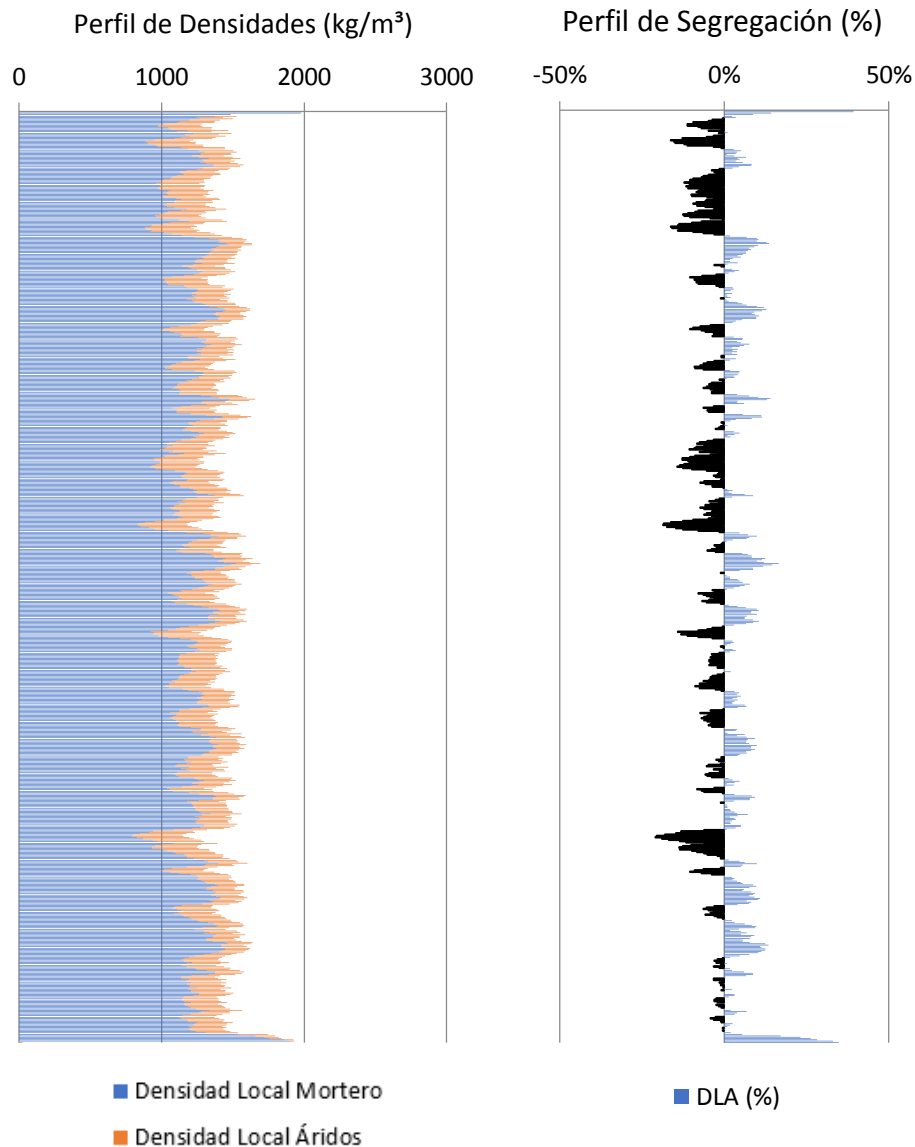
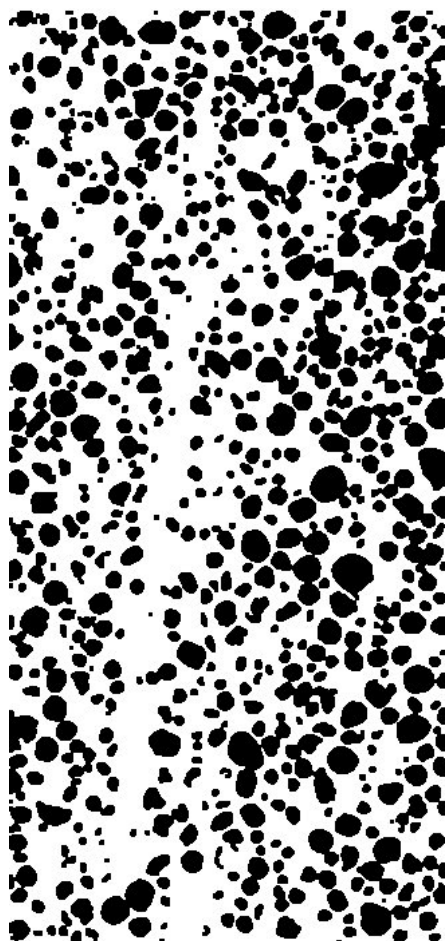
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLHS1700C15V20A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	1979
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<b>1.1 Distribución Global</b>	
IAG (%) =	41%
CDL (%) =	5%
<b>1.2 Distribución em 3 Zonas</b>	
Total de Ptos (1/3) =	30698
Total de Ptos (2/3) =	31999
Total de Ptos (3/3) =	29600
<b>1.3 Distribución em 4 Zonas</b>	
Total de Ptos (1/4) =	23963
Total de Ptos (2/4) =	22817
Total de Ptos (3/4) =	23366
Total de Ptos (4/4) =	22012
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<b>2.1 Mitades de Probeta</b>	
Dmp =	1424.432
<b>2.2 Cuartos de Probeta</b>	
D(1/4) =	1402.203
D(2/4) =	1429.787
D(3/4) =	1416.573
D(4/4) =	1449.164
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<b>3.1 Según Ke et al</b>	
IS (Ke) =	0.967594
<b>3.2 Según Navarrete et al</b>	
IS (Navarrete) =	4%
Concepto:	
<b>3.3 Según Solak</b>	
IS vertical (Solak) =	11%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

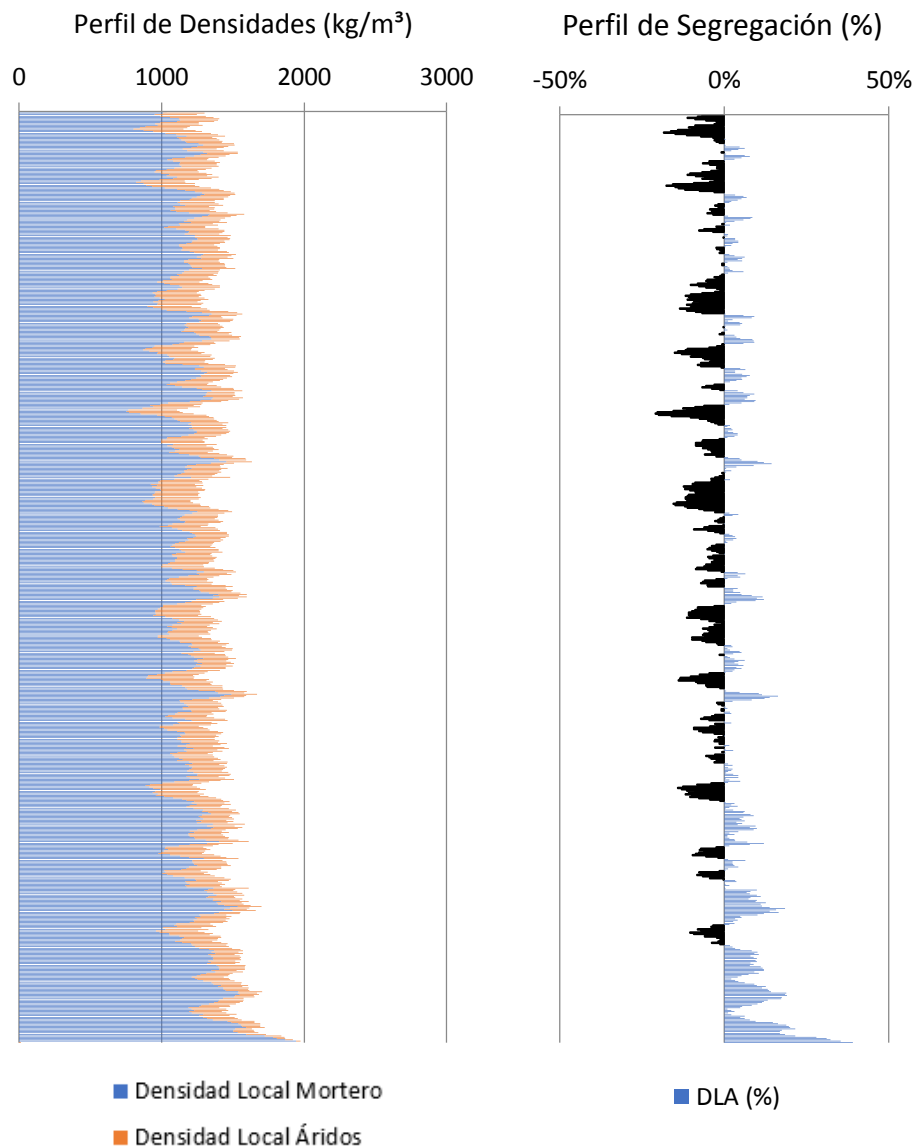
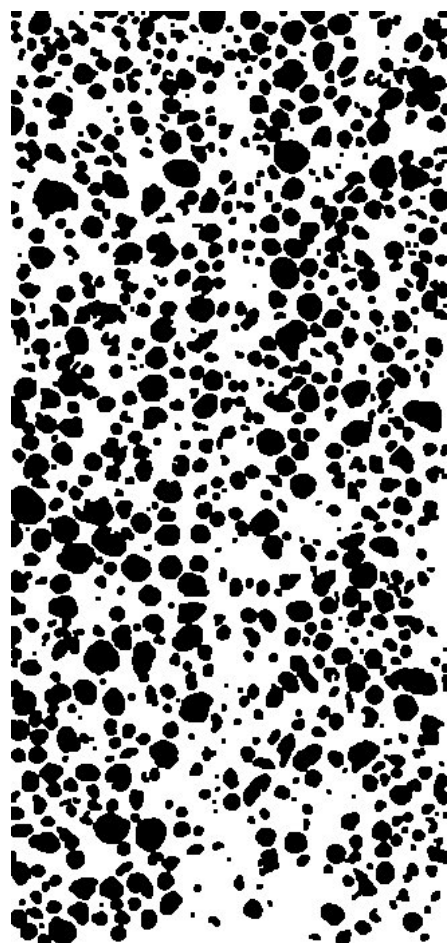
MUESTRA	
HLHS1700C15V20B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	1979
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	39%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	30253
Total de Ptos (2/3) =	30863
Total de Ptos (3/3) =	28291
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	22917
Total de Ptos (2/4) =	22942
Total de Ptos (3/4) =	22152
Total de Ptos (4/4) =	21275
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1441.714
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1427.38
D(2/4) =	1426.778
D(3/4) =	1445.794
D(4/4) =	1466.904
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.973057
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	7%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	12%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.



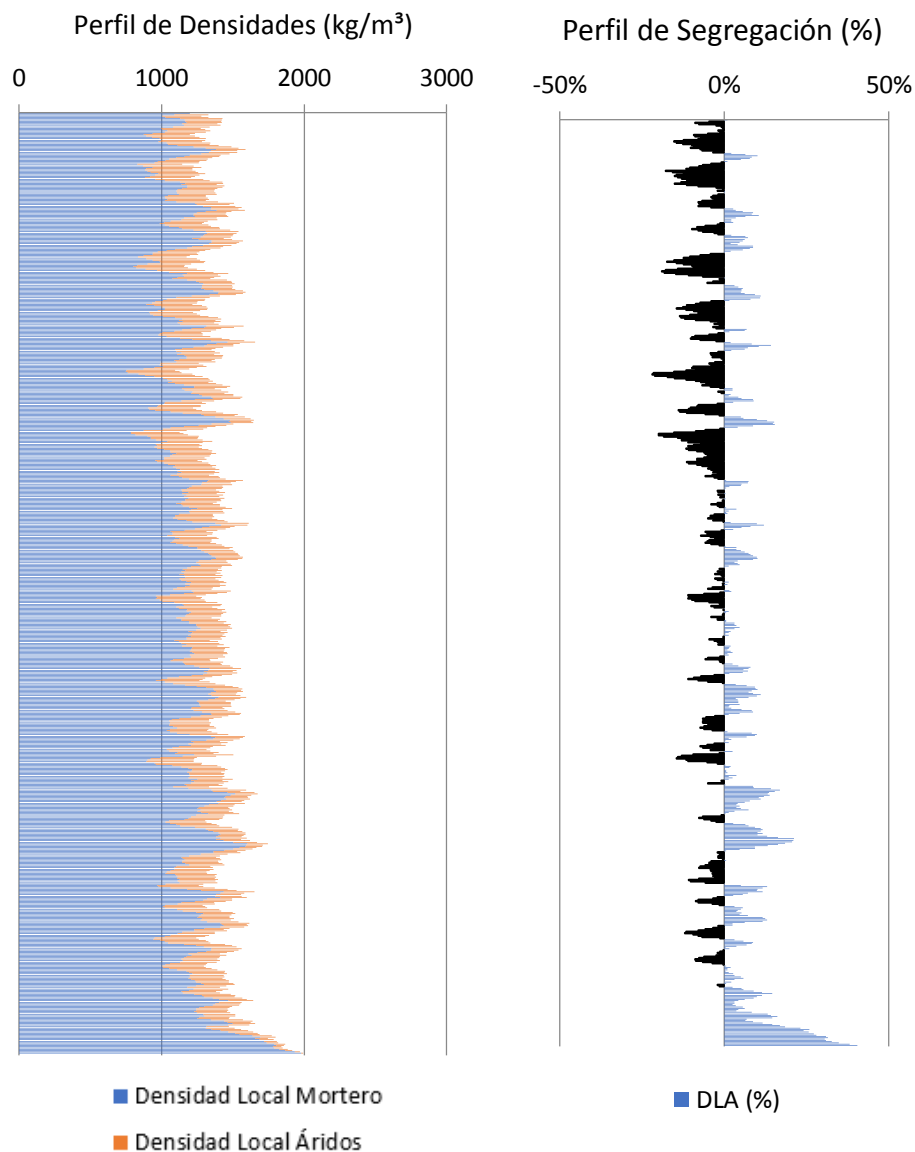
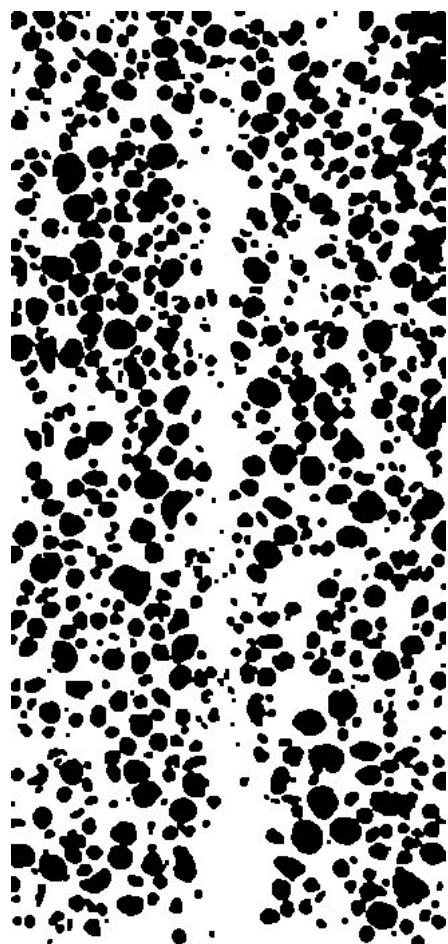
MUESTRA	
HLHS1700C15V40A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	1979
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	41%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	32977
Total de Ptos (2/3) =	32705
Total de Ptos (3/3) =	27656
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	24515
Total de Ptos (2/4) =	24925
Total de Ptos (3/4) =	24199
Total de Ptos (4/4) =	19560
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1418.167
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1388.916
D(2/4) =	1379.047
D(3/4) =	1396.522
D(4/4) =	1508.184
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.920919
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	18%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	12%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

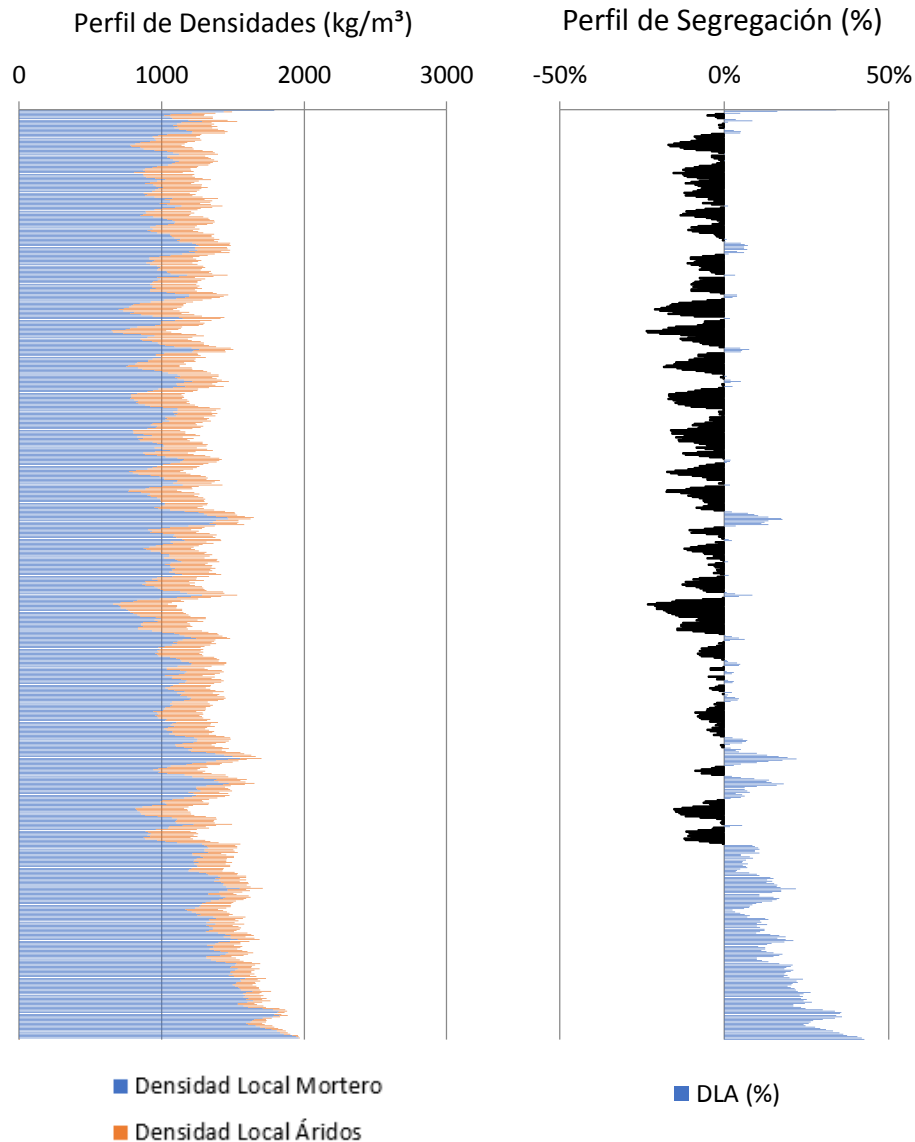
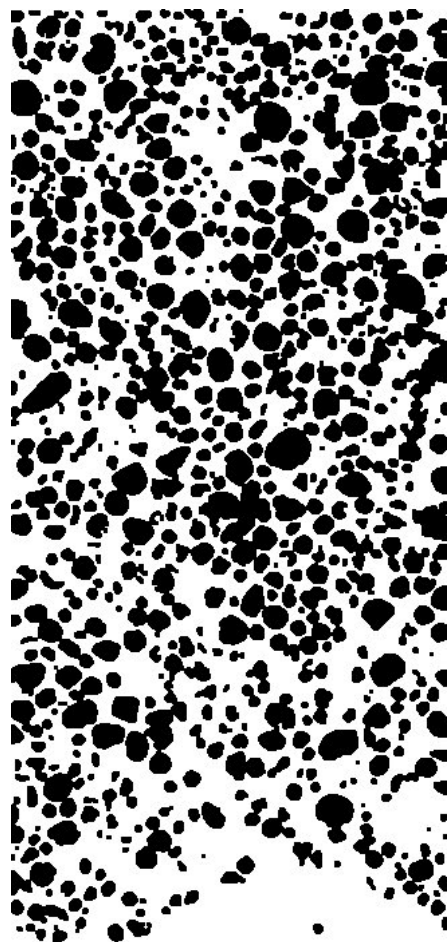


MUESTRA	
HLHS1700C15V40B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	1979
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	40%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	33330
Total de Ptos (2/3) =	31417
Total de Ptos (3/3) =	27299
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	24995
Total de Ptos (2/4) =	24400
Total de Ptos (3/4) =	22527
Total de Ptos (4/4) =	19989
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1425.918
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1377.362
D(2/4) =	1391.684
D(3/4) =	1436.768
D(4/4) =	1497.858
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.919554
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	20%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	14%



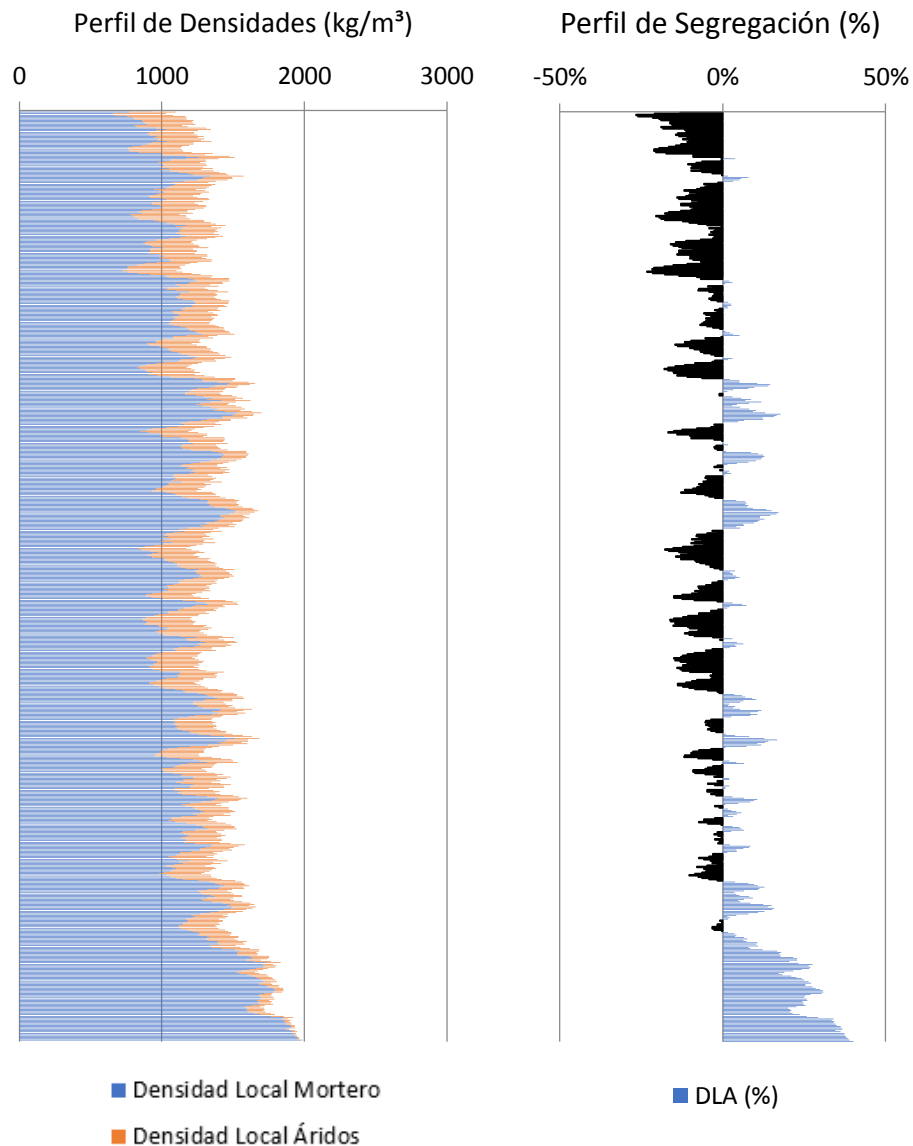
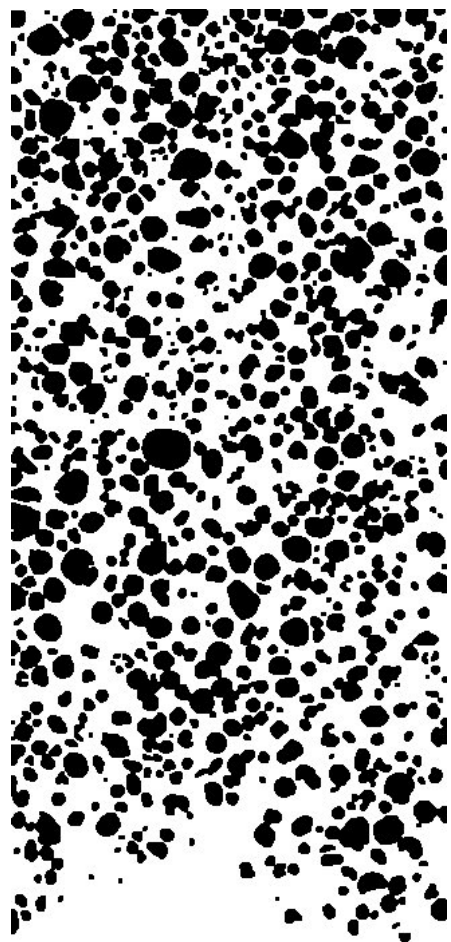
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLHS1700C15V80A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	1979
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	44%
CDL (%) =	9%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	37761
Total de Ptos (2/3) =	36872
Total de Ptos (3/3) =	24699
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	28217
Total de Ptos (2/4) =	27827
Total de Ptos (3/4) =	25864
Total de Ptos (4/4) =	17268
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1382.2
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1299.808
D(2/4) =	1309.195
D(3/4) =	1356.445
D(4/4) =	1563.354
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.831423
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	42%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	19%



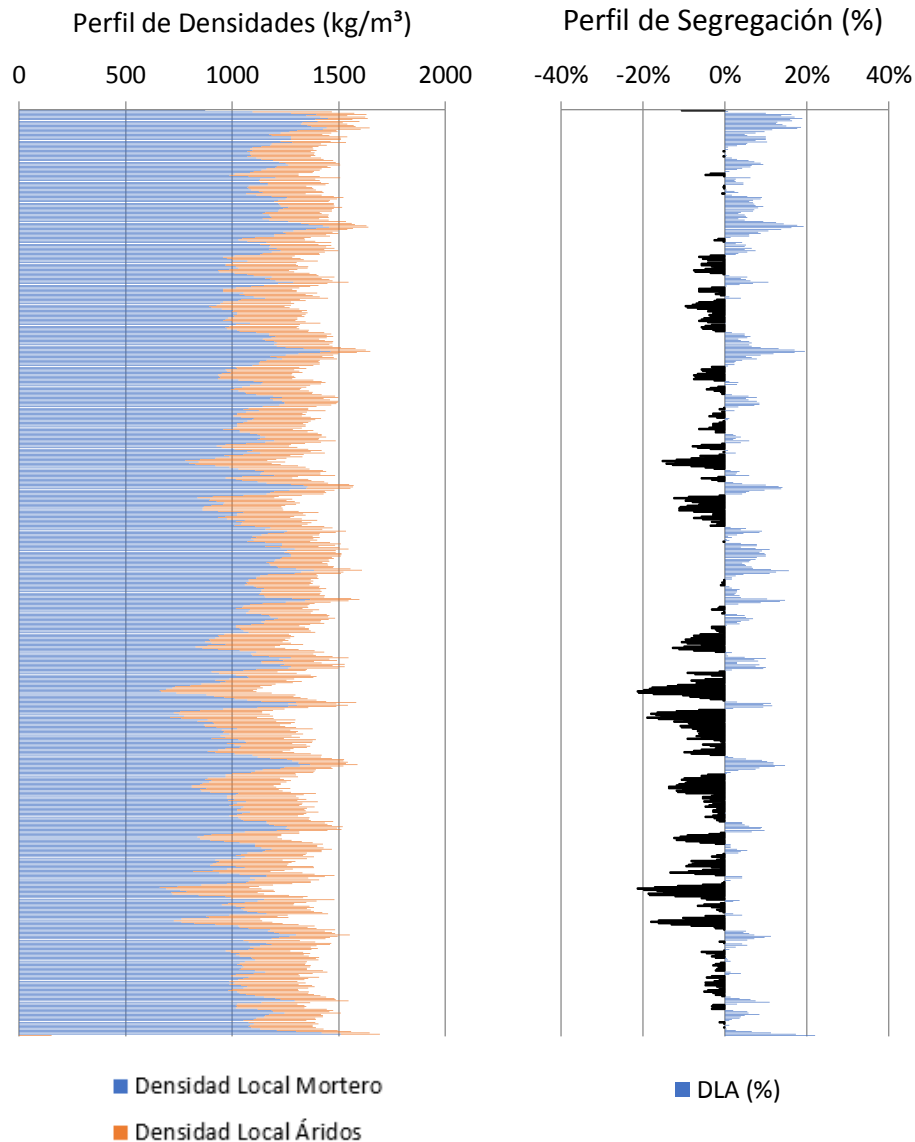
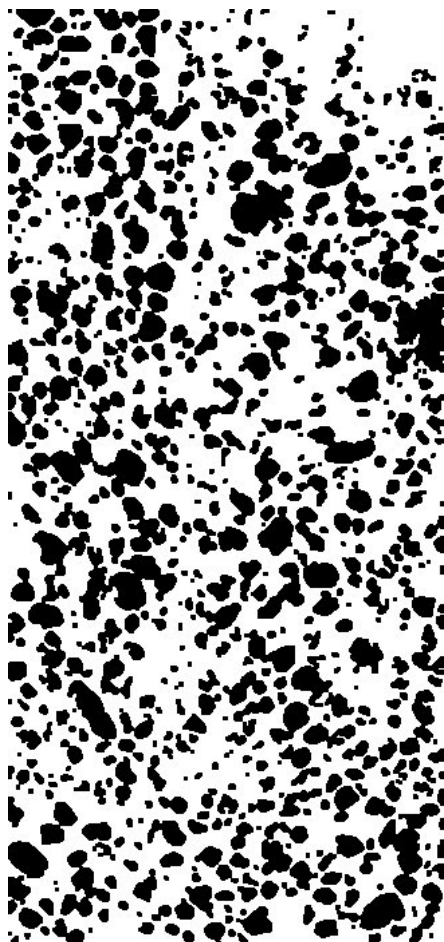
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLHS1700C15V80B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	610
Matriz de Mortero	1979
MUESTRA	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	40%
CDL (%) =	9%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	35338
Total de Ptos (2/3) =	32705
Total de Ptos (3/3) =	23413
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	27713
Total de Ptos (2/4) =	23264
Total de Ptos (3/4) =	24477
Total de Ptos (4/4) =	15887
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1429.348
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1311.939
D(2/4) =	1419.028
D(3/4) =	1389.831
D(4/4) =	1596.595
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.821711
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	41%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	20%



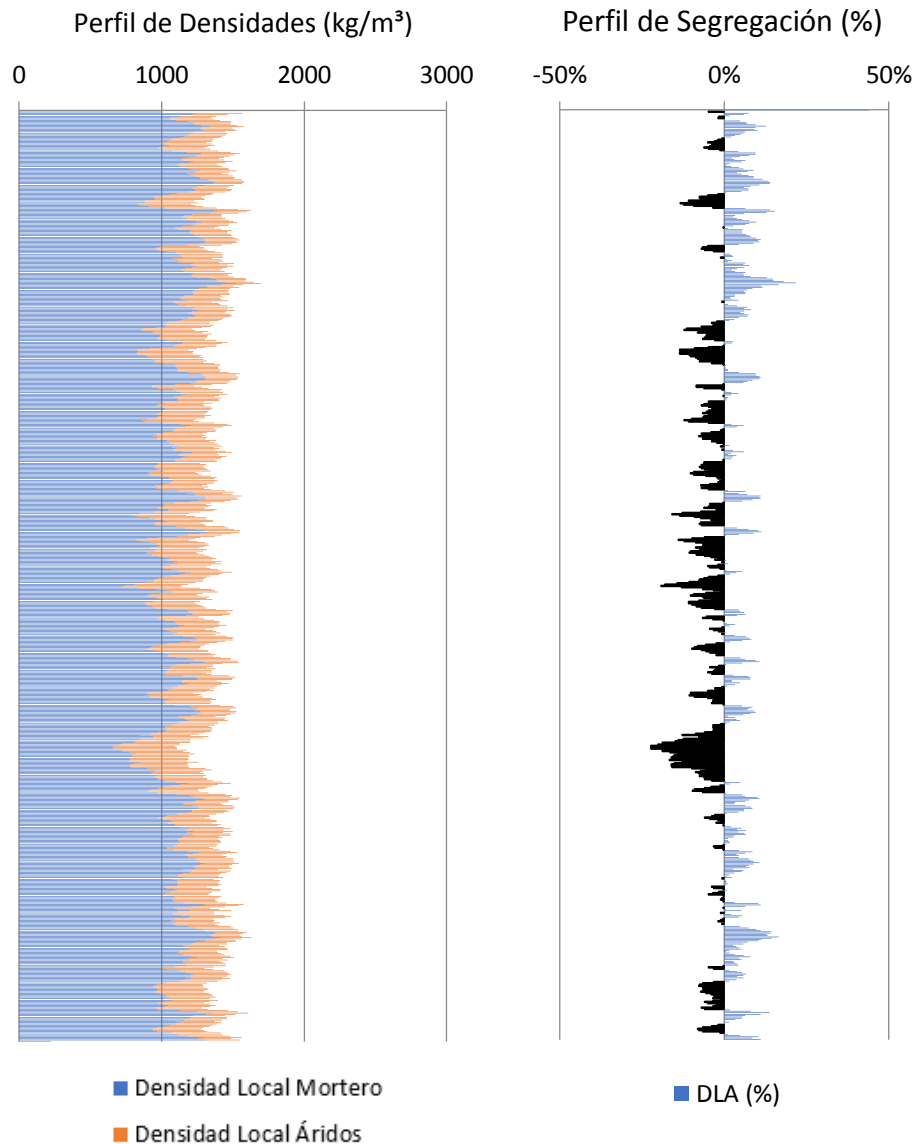
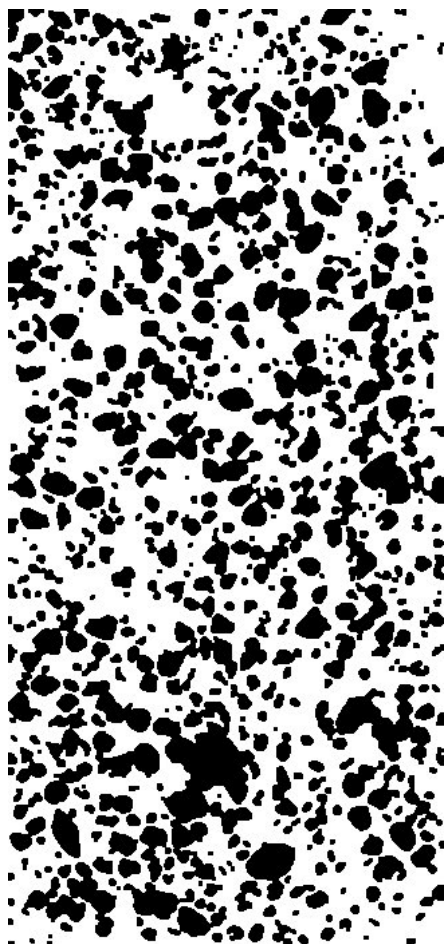
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLLTHS1700C15V10A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	676
Matriz de Mortero	1955
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	45%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	31840
Total de Ptos (2/3) =	34851
Total de Ptos (3/3) =	35383
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	23700
Total de Ptos (2/4) =	24908
Total de Ptos (3/4) =	26989
Total de Ptos (4/4) =	26335
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1381.941
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1422.036
D(2/4) =	1394.871
D(3/4) =	1348.074
D(4/4) =	1362.781
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.043481
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	11%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	12%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

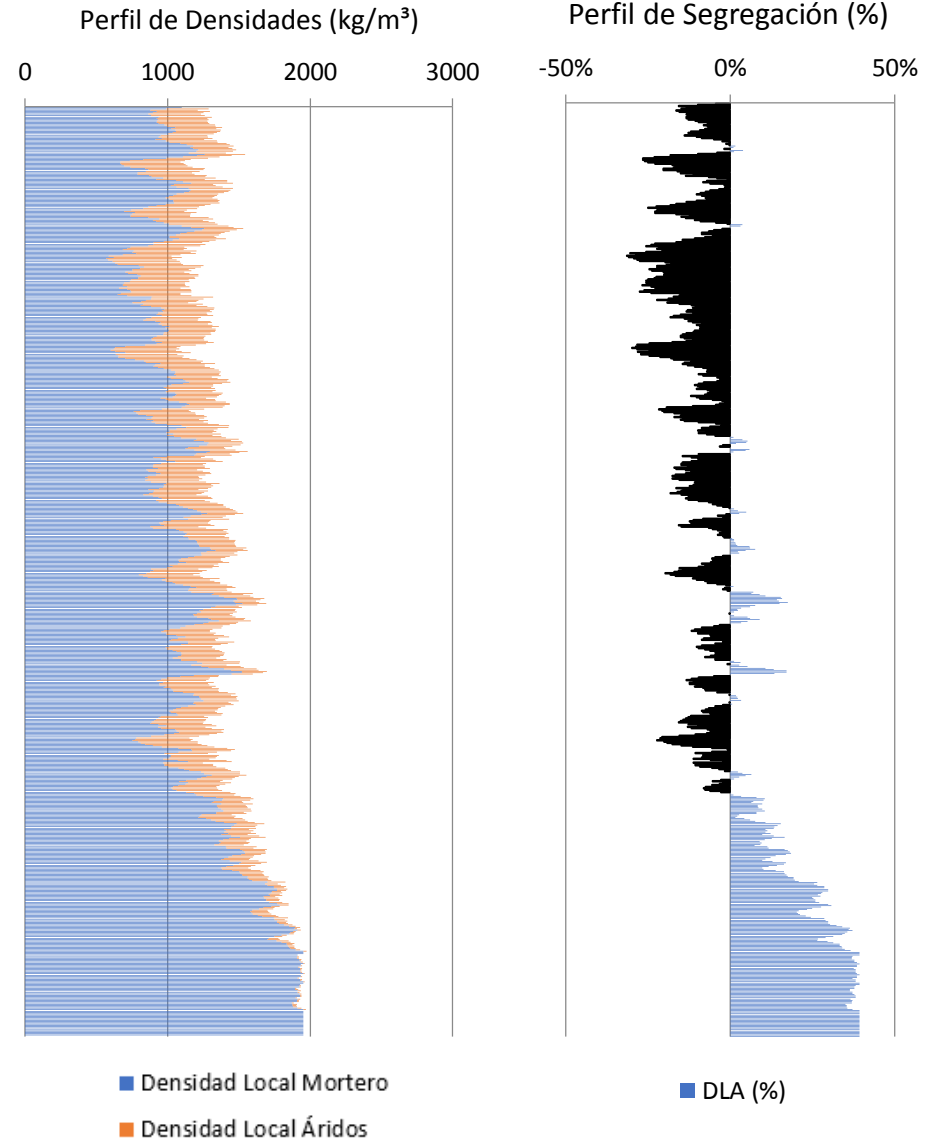
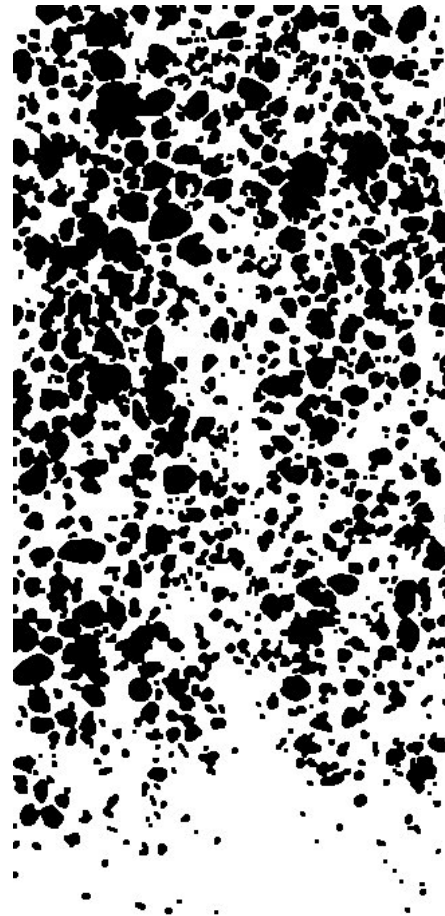
MUESTRA	
HLLTHS1700C15V10B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	676
Matriz de Mortero	1955
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	44%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	31820
Total de Ptos (2/3) =	34978
Total de Ptos (3/3) =	33453
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	22937
Total de Ptos (2/4) =	26382
Total de Ptos (3/4) =	27029
Total de Ptos (4/4) =	23721
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1392.414
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1439.195
D(2/4) =	1361.724
D(3/4) =	1347.174
D(4/4) =	1421.564
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.012402
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	5%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	12%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.



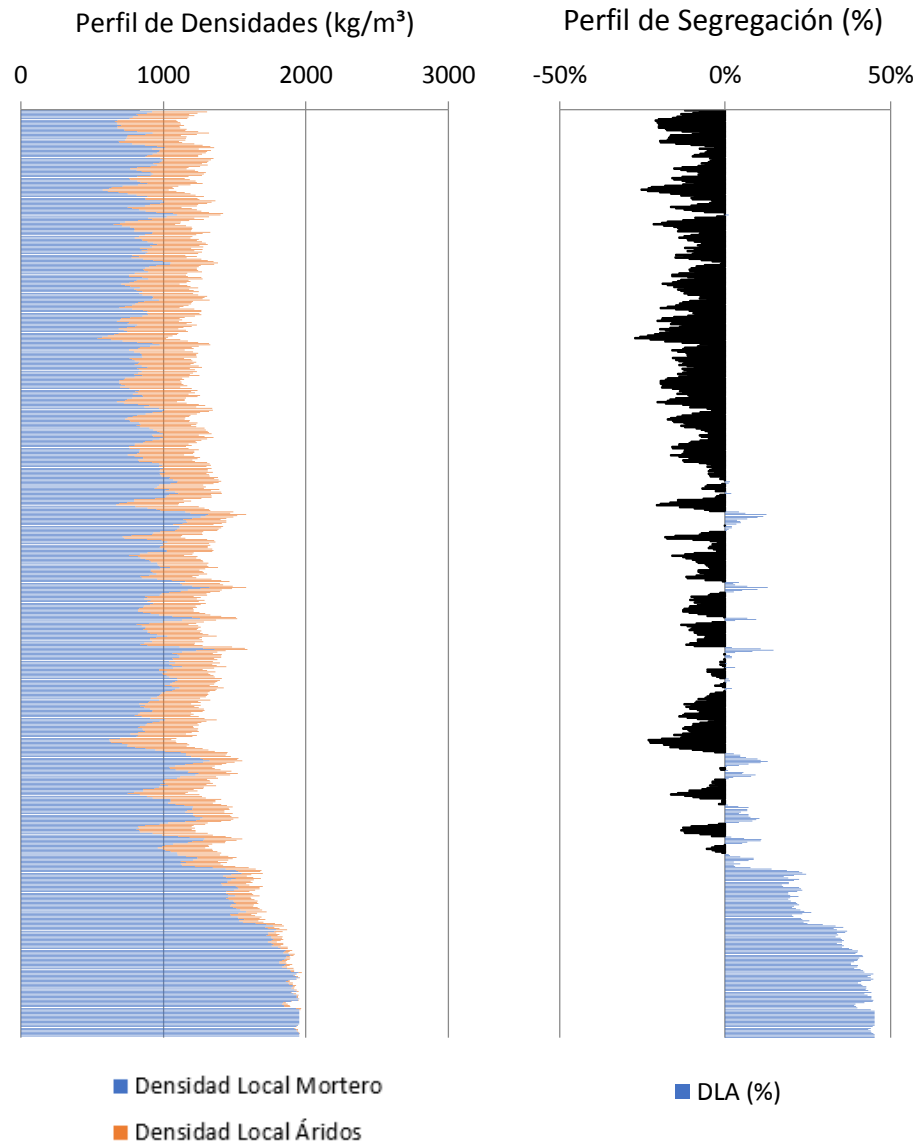
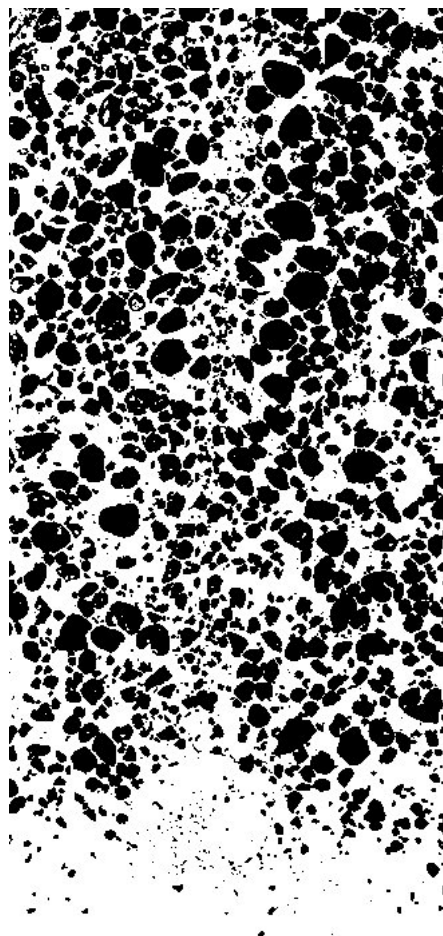
MUESTRA	
HLLTHS1700C15V160A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	676
Matriz de Mortero	1955
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	39%
CDL (%) =	15%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	40491
Total de Ptos (2/3) =	33615
Total de Ptos (3/3) =	15684
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	30385
Total de Ptos (2/4) =	27509
Total de Ptos (3/4) =	24514
Total de Ptos (4/4) =	7206
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1451.192
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1271.705
D(2/4) =	1336.38
D(3/4) =	1403.731
D(4/4) =	1792.952
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.70928
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	88%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	31%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

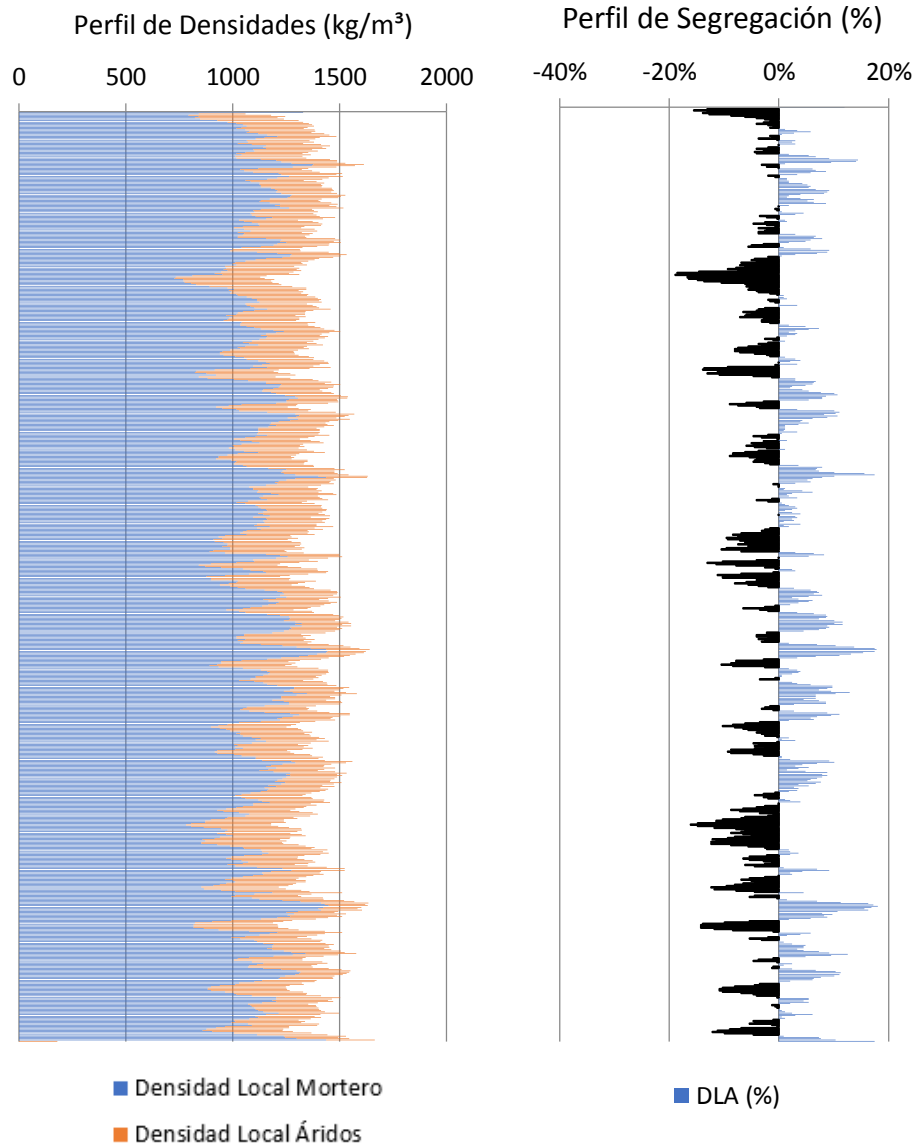
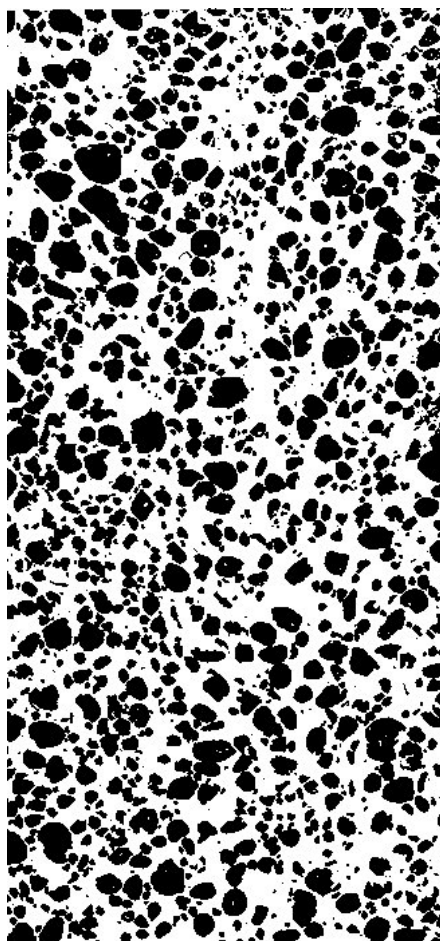


MUESTRA	
HLLTHS1700C15V160B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	676
Matriz de Mortero	1955
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	45%
CDL (%) =	14%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	44031
Total de Ptos (2/3) =	38484
Total de Ptos (3/3) =	20537
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	32843
Total de Ptos (2/4) =	30590
Total de Ptos (3/4) =	28280
Total de Ptos (4/4) =	11136
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1376.785
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1216.43
D(2/4) =	1267.095
D(3/4) =	1319.042
D(4/4) =	1704.575
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.713626
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	73%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	28%



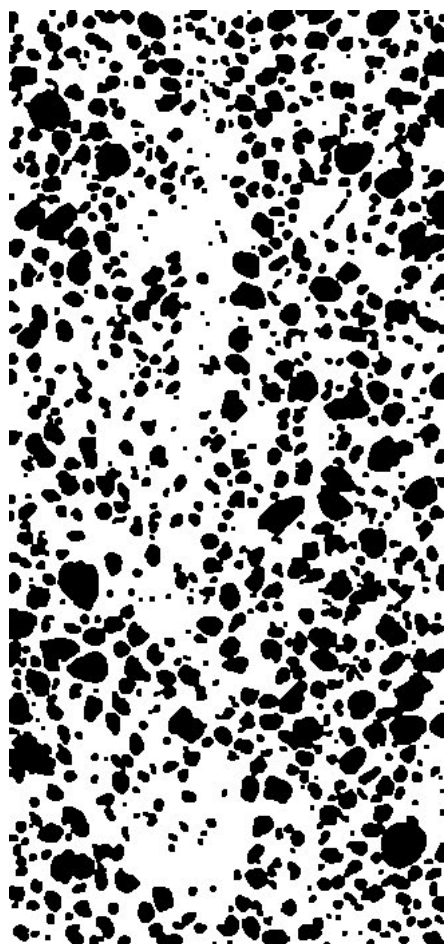
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLLTHS1700C15V20A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	676
Matriz de Mortero	1955
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	44%
CDL (%) =	5%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	33820
Total de Ptos (2/3) =	32511
Total de Ptos (3/3) =	33707
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	25436
Total de Ptos (2/4) =	25087
Total de Ptos (3/4) =	23758
Total de Ptos (4/4) =	25634
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1393.28
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1382.997
D(2/4) =	1390.846
D(3/4) =	1420.732
D(4/4) =	1378.545
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.00323
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	0%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	11%

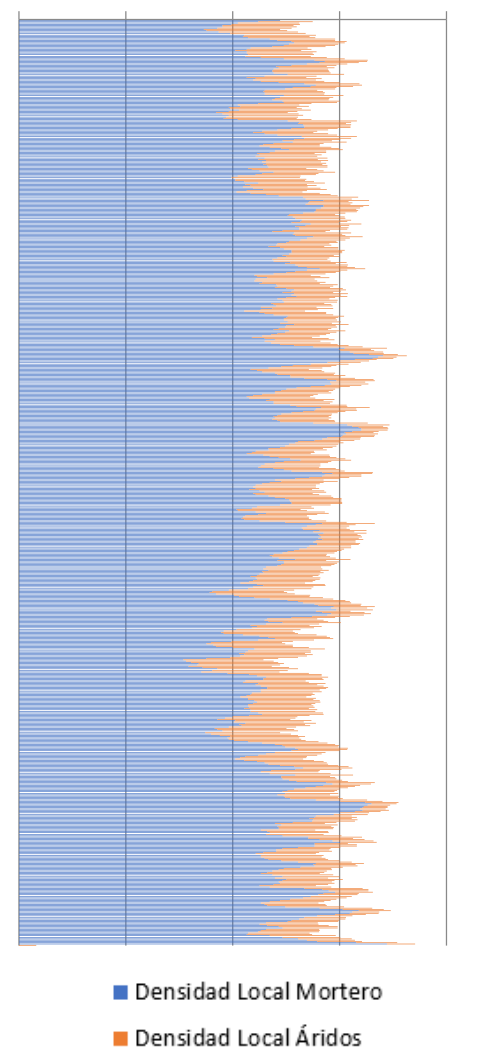


‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

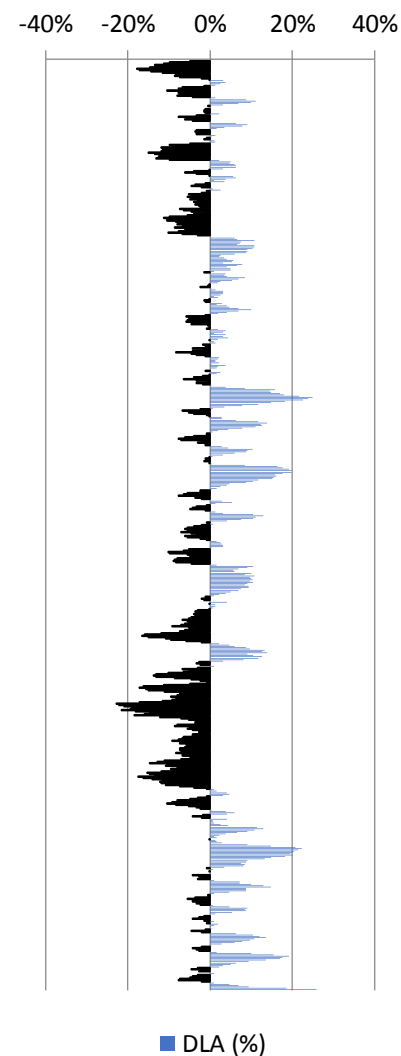
MUESTRA	
HLLTHS1700C15V20B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	676
Matriz de Mortero	1955
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	38%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	29655
Total de Ptos (2/3) =	27302
Total de Ptos (3/3) =	29430
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	22471
Total de Ptos (2/4) =	19685
Total de Ptos (3/4) =	23622
Total de Ptos (4/4) =	20486
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1470.026
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1449.674
D(2/4) =	1512.325
D(3/4) =	1423.791
D(4/4) =	1494.313
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.970128
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	1%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	13%



Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)

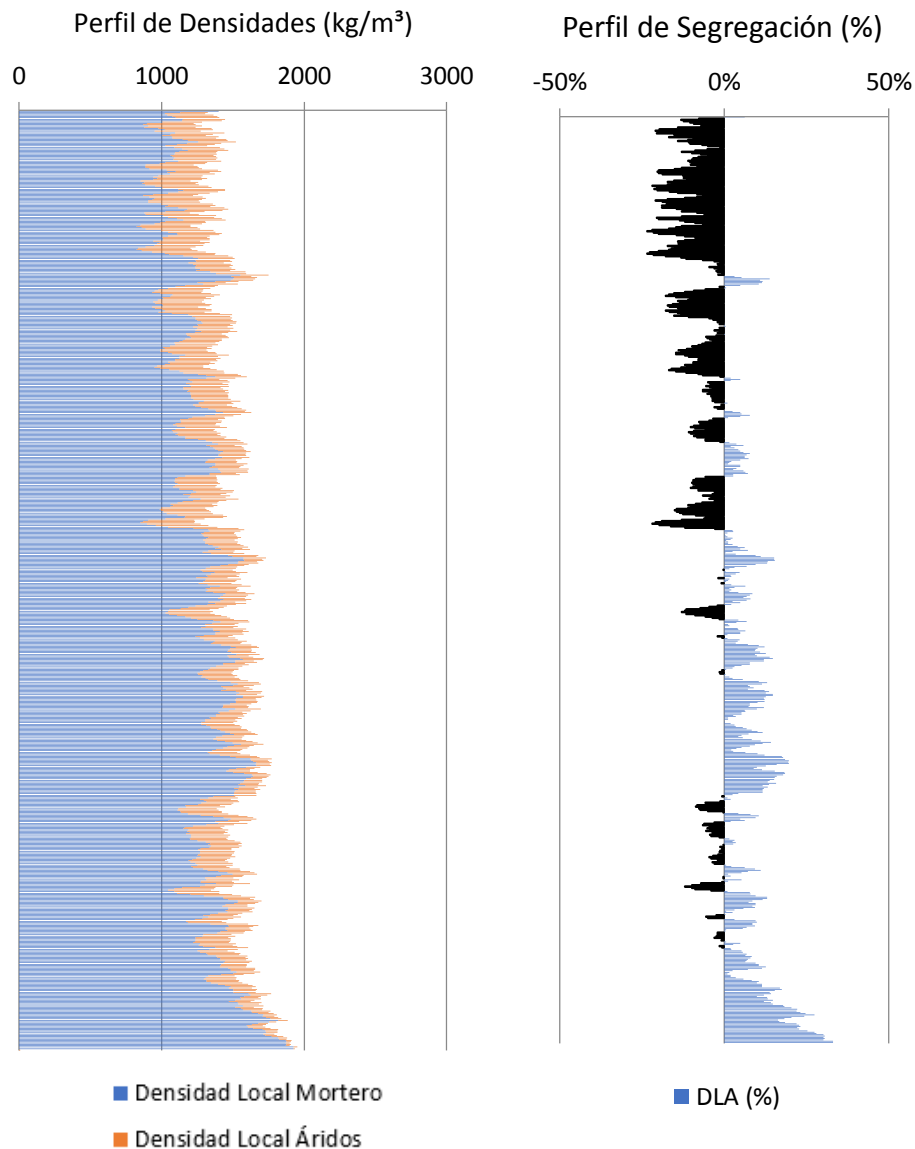
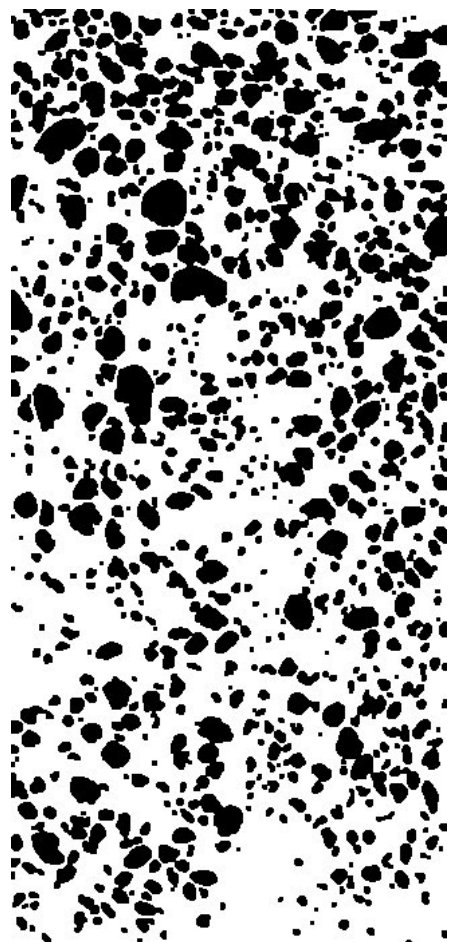


Perfil de Segregación (%)



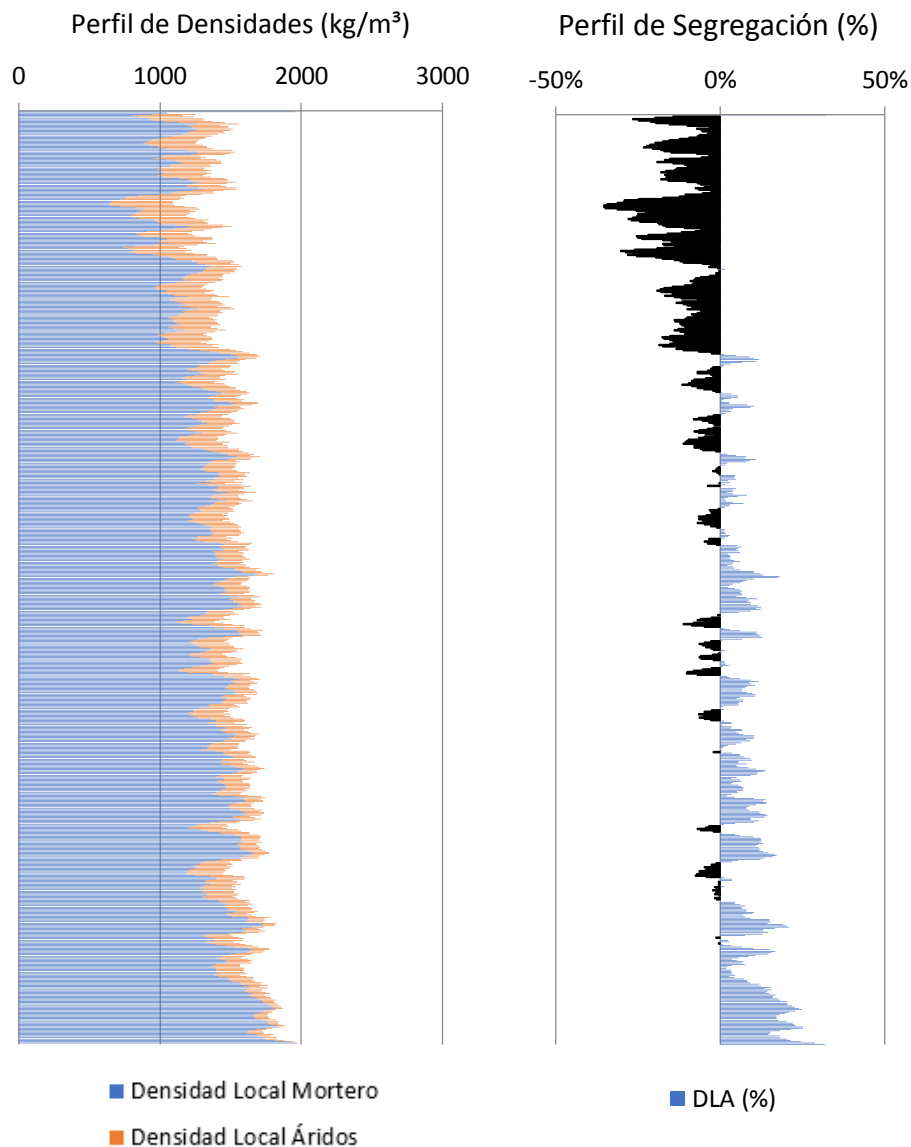
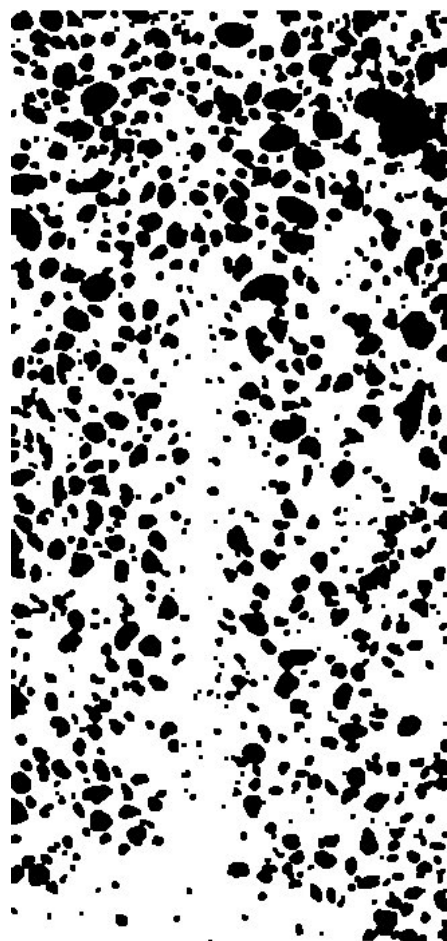
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLLTHS1700C15V40A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	676
Matriz de Mortero	1955
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	35%
CDL (%) =	9%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	33192
Total de Ptos (2/3) =	25052
Total de Ptos (3/3) =	20480
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	25528
Total de Ptos (2/4) =	21292
Total de Ptos (3/4) =	16168
Total de Ptos (4/4) =	15594
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1513.214
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1380.929
D(2/4) =	1476.187
D(3/4) =	1591.415
D(4/4) =	1604.323
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.860754
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	47%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	19%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

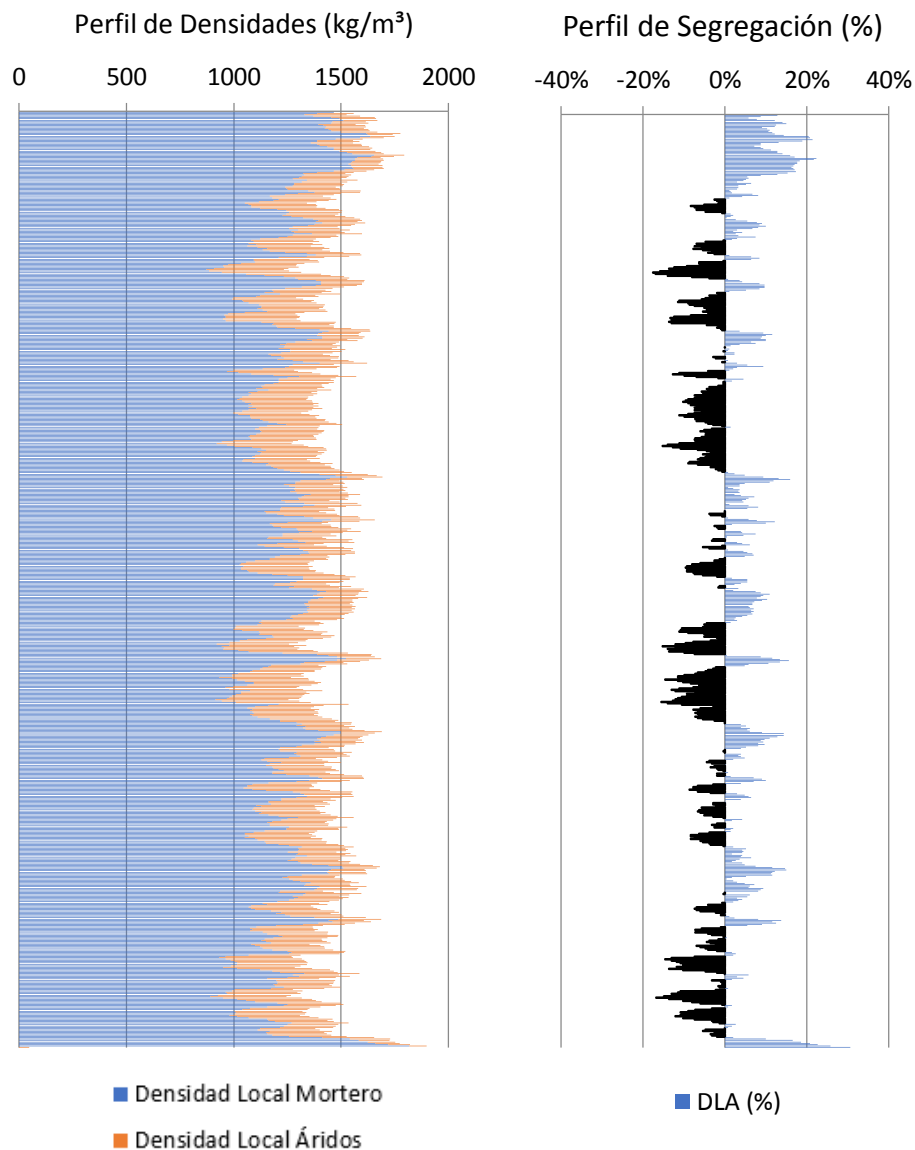
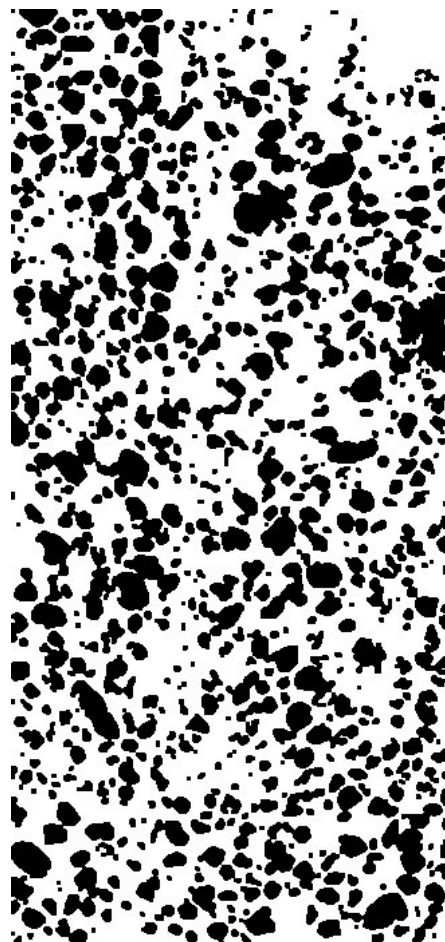
MUESTRA	
HLLTHS1700C15V40B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	676
Matriz de Mortero	1955
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	32%
CDL (%) =	9%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	32492
Total de Ptos (2/3) =	22876
Total de Ptos (3/3) =	17398
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	26192
Total de Ptos (2/4) =	17948
Total de Ptos (3/4) =	15783
Total de Ptos (4/4) =	12734
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1546.524
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1365.997
D(2/4) =	1551.387
D(3/4) =	1600.073
D(4/4) =	1668.639
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.818629
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	61%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	21%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.



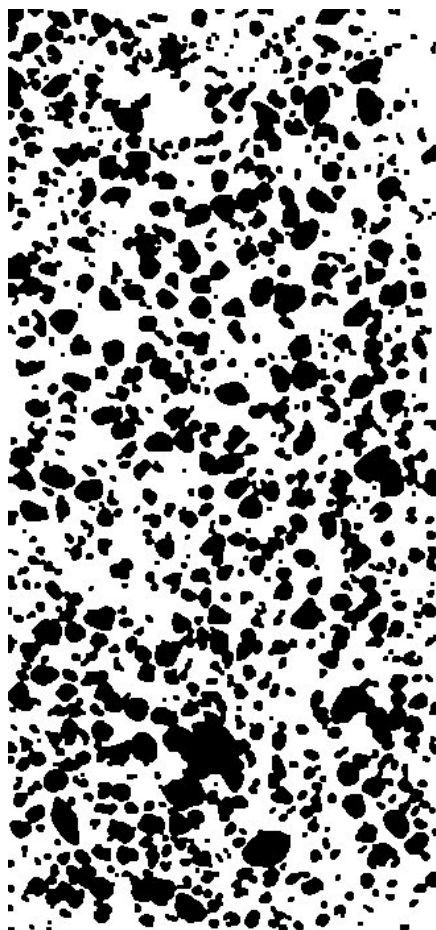
MUESTRA	
HLLTHS1700C15V5A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	676
Matriz de Mortero	1955
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	38%
CDL (%) =	6%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	27651
Total de Ptos (2/3) =	29564
Total de Ptos (3/3) =	28690
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	19708
Total de Ptos (2/4) =	22379
Total de Ptos (3/4) =	21972
Total de Ptos (4/4) =	21721
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1472.747
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1511.808
D(2/4) =	1451.743
D(3/4) =	1460.896
D(4/4) =	1466.54
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.030867
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	4%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	14%



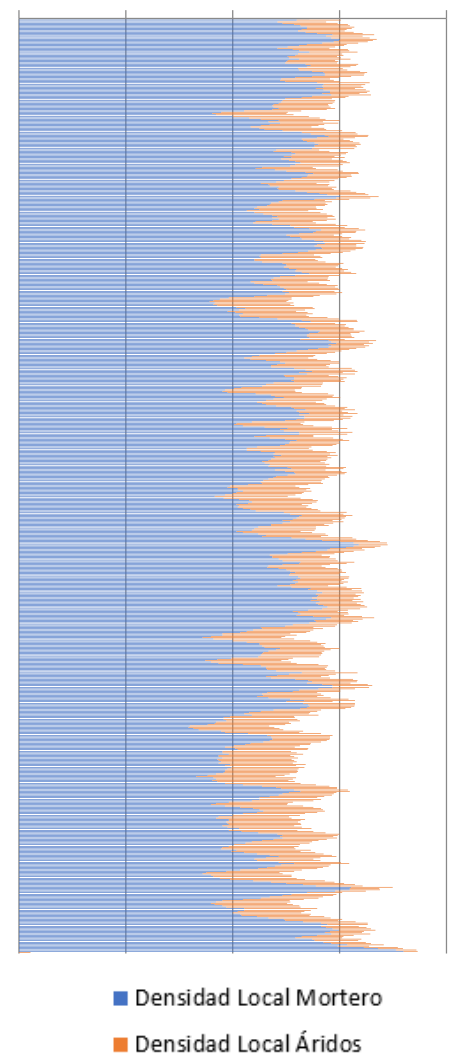
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.



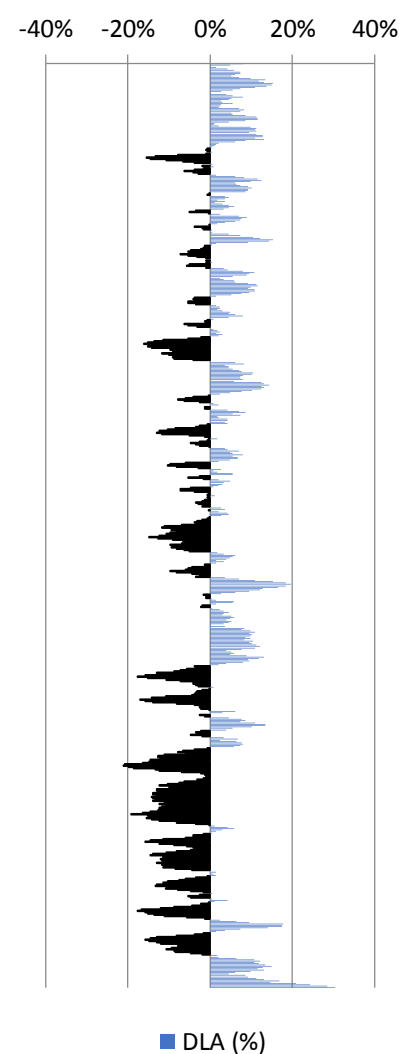
MUESTRA	
HLLTHS1700C15V5B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	676
Matriz de Mortero	1955
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	38%
CDL (%) =	7%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	27244
Total de Ptos (2/3) =	28311
Total de Ptos (3/3) =	31870
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	19482
Total de Ptos (2/4) =	21867
Total de Ptos (3/4) =	21518
Total de Ptos (4/4) =	24458
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1464.061
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1516.89
D(2/4) =	1463.257
D(3/4) =	1471.105
D(4/4) =	1404.991
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	1.079645
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	16%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	15%



Perfil de Densidades (kg/m<sup>3</sup>)

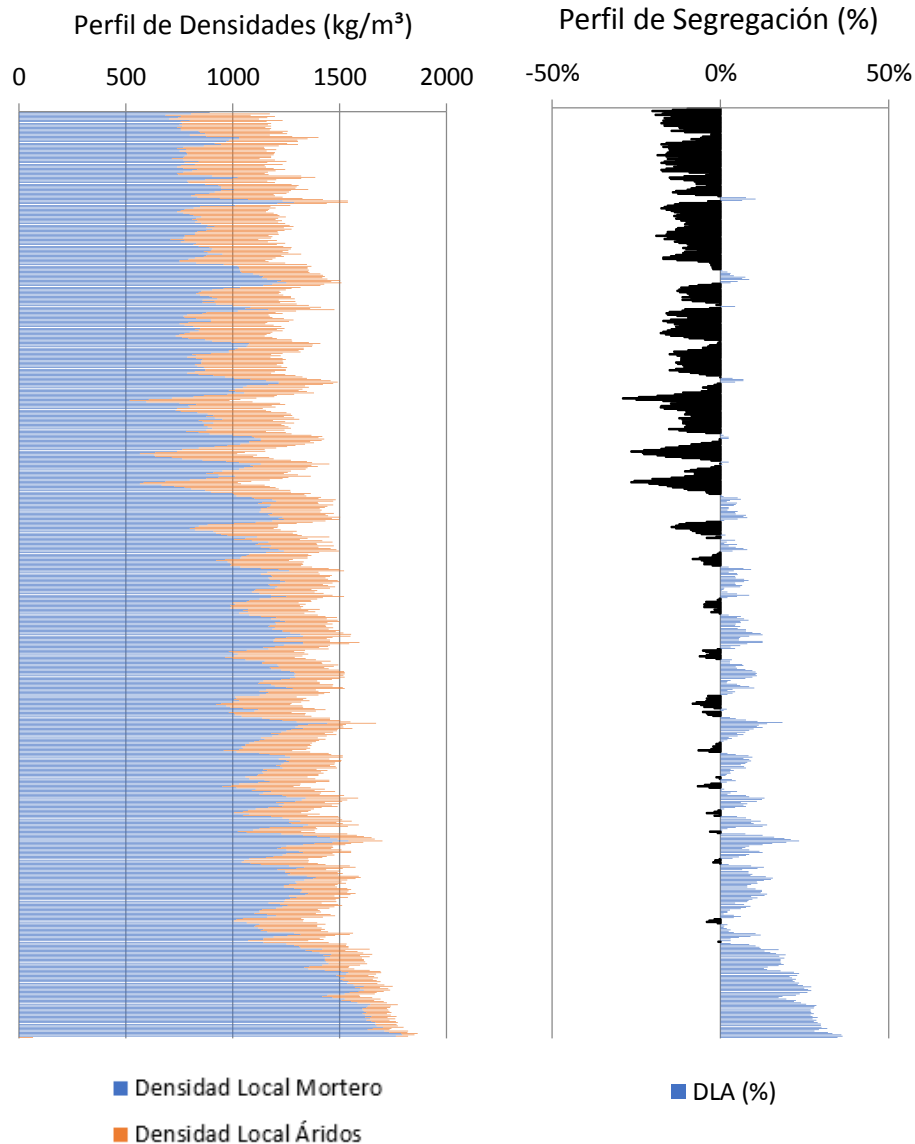
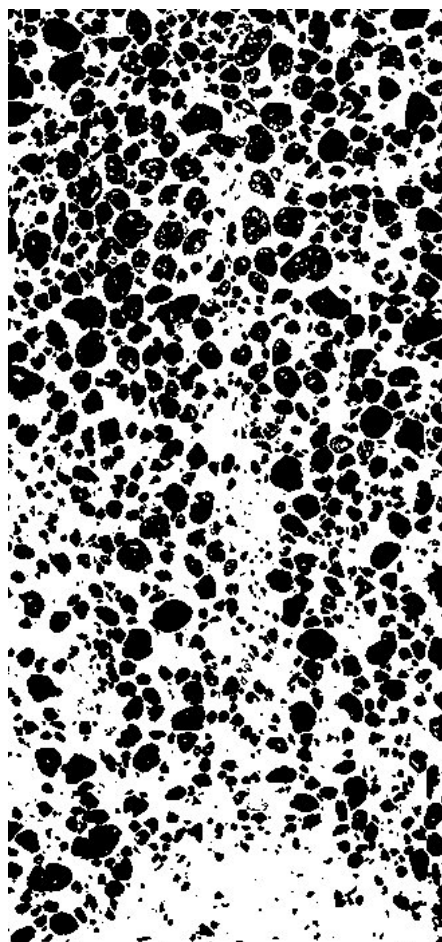


Perfil de Segregación (%)



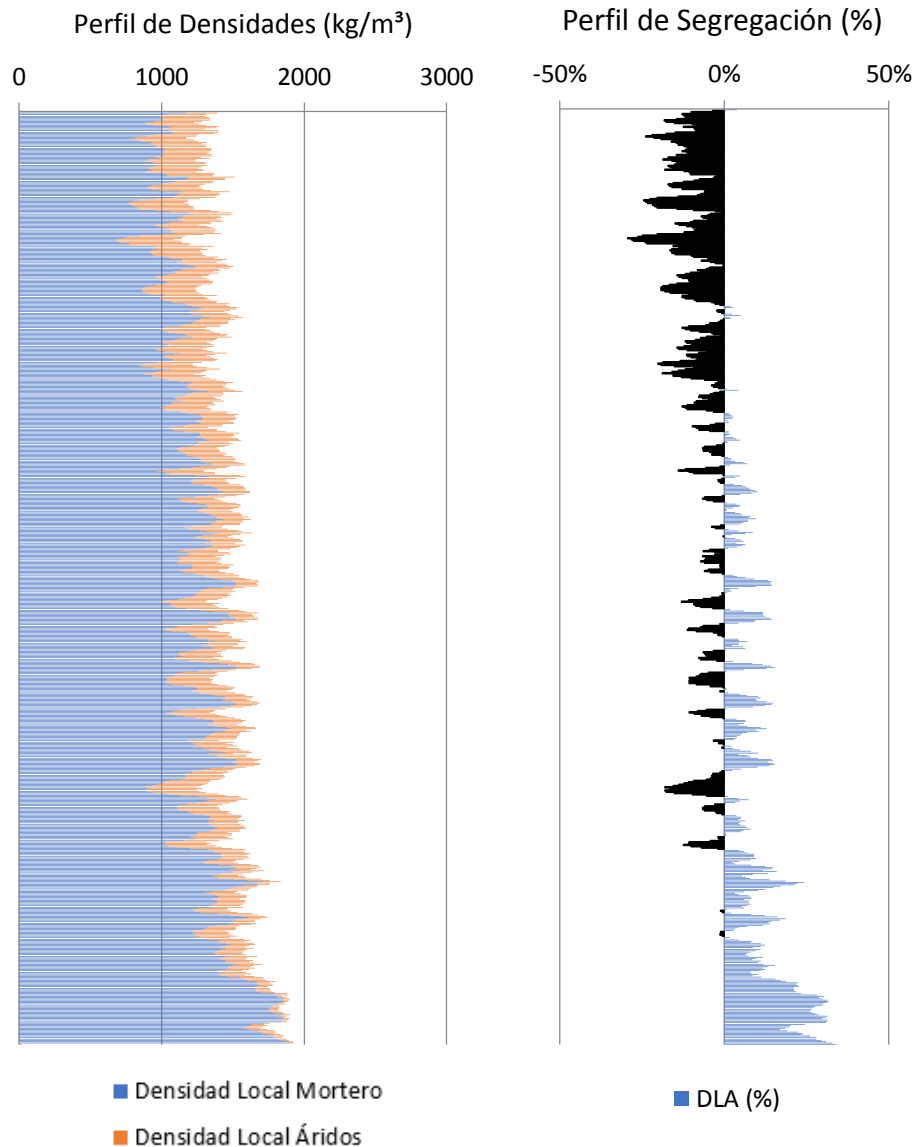
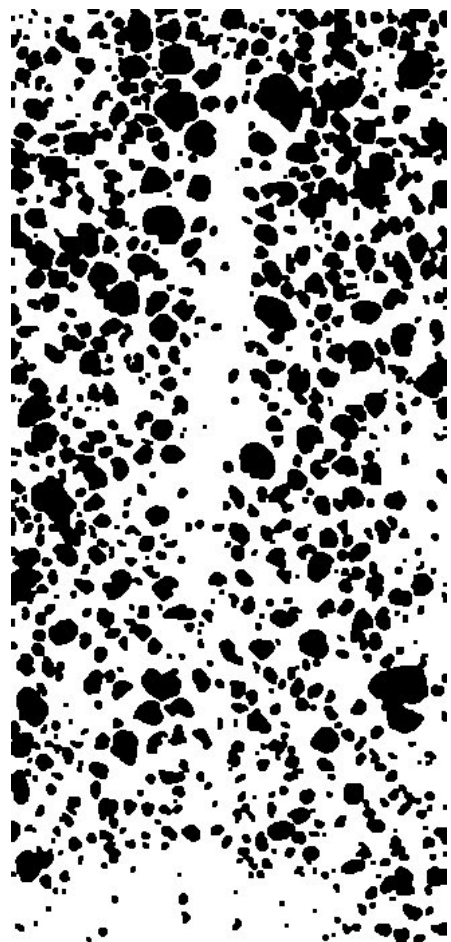
‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLLTHS1700C15V80A	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	676
Matriz de Mortero	1955
RESULTADOS	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	45%
CDL (%) =	10%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	41688
Total de Ptos (2/3) =	34488
Total de Ptos (3/3) =	25430
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	31341
Total de Ptos (2/4) =	29007
Total de Ptos (3/4) =	23370
Total de Ptos (4/4) =	17703
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1384.813
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1250.206
D(2/4) =	1302.693
D(3/4) =	1429.457
D(4/4) =	1556.896
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.803012
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	48%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	20%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.

MUESTRA	
HLLTHS1700C15V80B	
DATOS DE ENTRADA	
Densidades (kg/m <sup>3</sup> )	
Áridos Ligeros	676
Matriz de Mortero	1955
MUESTRA	
<b>1. Distribución de los puntos</b>	
<u>1.1 Distribución Global</u>	
IAG (%) =	37%
CDL (%) =	9%
<u>1.2 Distribución em 3 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/3) =	35681
Total de Ptos (2/3) =	26978
Total de Ptos (3/3) =	20678
<u>1.3 Distribución em 4 Zonas</u>	
Total de Ptos (1/4) =	27174
Total de Ptos (2/4) =	22197
Total de Ptos (3/4) =	20103
Total de Ptos (4/4) =	13748
<b>2. Densidades (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<u>2.1 Mitades de Probeta</u>	
Dmp =	1487.128
<u>2.2 Cuartos de Probeta</u>	
D(1/4) =	1343.913
D(2/4) =	1455.836
D(3/4) =	1502.926
D(4/4) =	1645.836
<b>3. Índices de Segregación</b>	
<u>3.1 Según Ke et al</u>	
IS (Ke) =	0.816554
<u>3.2 Según Navarrete et al</u>	
IS (Navarrete) =	53%
Concepto:	
<u>3.3 Según Solak</u>	
IS vertical (Solak) =	20%



‘El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico.